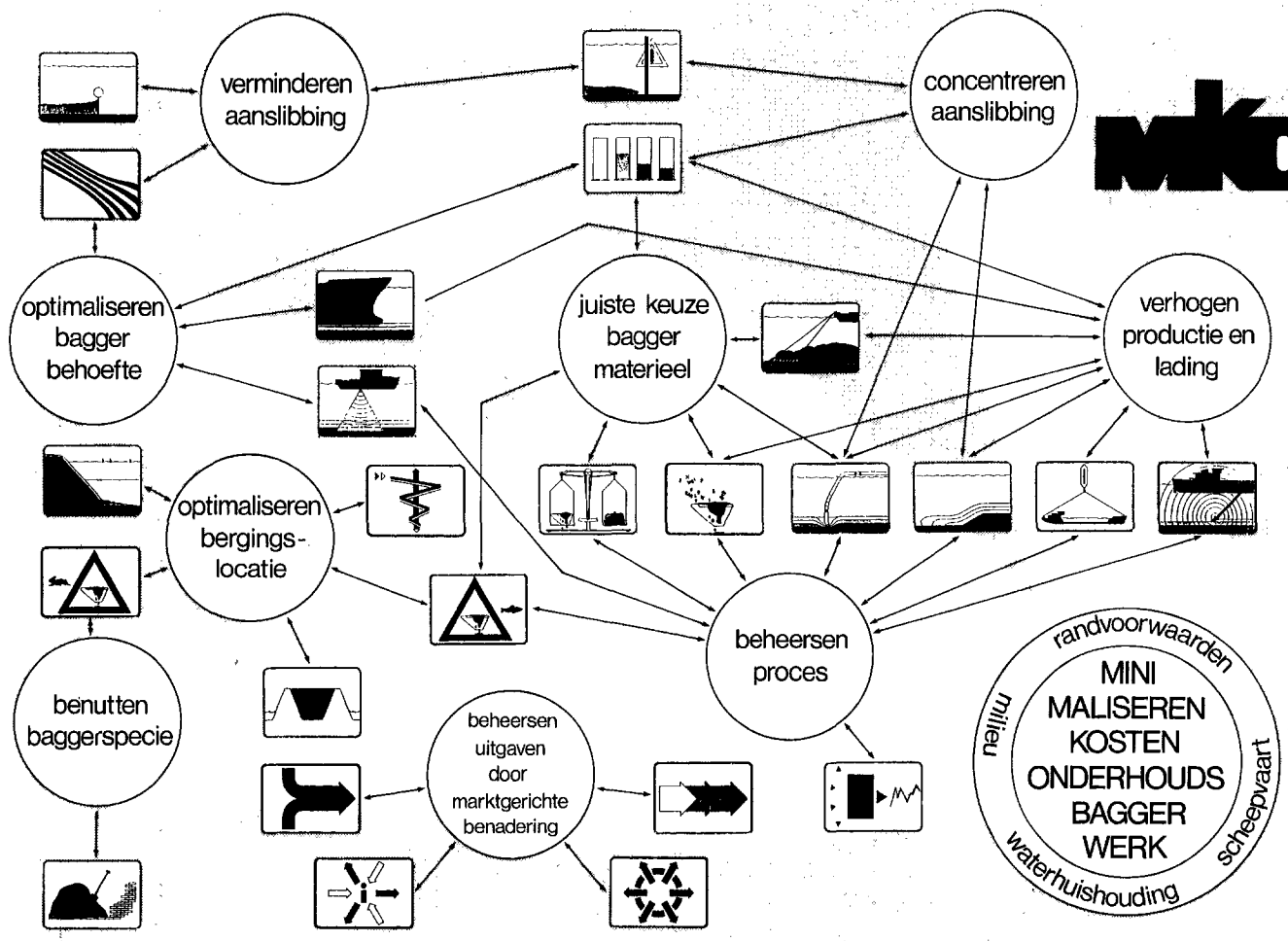


MKO
Minimalisering Kosten
Onderhoudsbaggerwerk

Een bundeling van kennis en ervaring in de strijd tegen het slib

Een inventarisatie van de
resultaten van een gezamenlijk
onderzoekproject
van
– Rotterdam
– Rijkswaterstaat

mei 1987



REF. NR. 7013	DATUM 26-6-1987
SIGN. C5519	FRWS FL 0,00
Bibliotheek Hoofddirectie v. d. Waterstaat Koningskade 4 2596 AA 's-Gravenhage	

MKO
Minimalisering Kosten
Onderhoudsbaggerwerk

Een bundeling van kennis en ervaring in de strijd tegen het slib

Een inventarisatie van de
resultaten van een gezamenlijk
onderzoekproject
van
– Rotterdam
– Rijkswaterstaat

mei 1987

Samenstelling: (Redactie)

R.H.W. van Vechgel

M. Veltman

A.W. Dollée

H.J. de Haan

Auteurs:

G. van Bochoven

C. Boodt

J.M. de Bruyne

J. de Gast

H.J. de Haan

J.A. Hellema

B.C. Leichsenring

G. Ottevanger

W.D. Rokosh

C. van Rijt

R.H.W. van Vechgel

T. Vellinga

M. Veltman

F. Visser

Illustraties:

Van Oost

Interieurarchitect BNI

Drukwerk:

vijlbrief | haarlem

Inhoud	Blz.
VOORWOORD	7
INLEIDING	9
1. M.K.O. DOOR DE JAREN HEEN	11
Ontstaansgeschiedenis	
Doelstelling	
Werkwijze	
Evaluatie	
2. SLIBVERSPREIDING	19
Inleiding	
Slibvoorkomens	
Slibeigenschappen	
Transportmechanisme	
Meettechniek en modellen	
3. BEINVLOEDING VAN DE SLIBVERSPREIDING	29
Plaats van sedimentatie	
Afschermen van de bron	
Ingrijpen tijdens de transportweg	
Slib scherm	
Concentreren van de sedimentatieplaats	
Bufferput Maasmond	
Slibvang Botlek	
4. SURVEY	35
Inleiding	
Peilen	
Radioactieve sondes	
Akoestische detectie van soortelijke massa	
Voortplantingssnelheid van geluid in slib	
Gasgehalte in slib	
5. BAGGERTECHNIEK	41
Inleiding	
Onderhoudbaggerspecie	
Sleephopperzuiger	
Bodemegalisatie werktuigen	
Stationair zuigsysteem	
Milieubewust baggeren en storten	
6. BAGGERPROCES MET SLEEPZUIGERS	47
Inleiding	
Baggerprogrammering	
Beunmeetsysteem	
Gestuurd baggeren	
7. BERGINGSTECHNIEK	55
Inleiding	
Nationaal beleid en wetgeving	
Oostvoornse Meer	
Bergen op zee	
Hergebruik en klei voor dijken	
Verontreinigingsbeheersing	
Hydrocyclonage	
Lijst van MKO medewerkers	
Lijst van MKO rapporten	

VOORWOORD

Het minimaliseren van de kosten van onderhoudsbaggerwerk (afgekort MKO) is zoals de naam zegt gestart met een sterk financieel gerichte doelstelling van de twee grote opdrachtgevers van baggerwerk: de Rijkswaterstaat en de Gemeente Rotterdam. Gedurende de 12 bestaansjaren van het projekt is de doelstelling duidelijk geëvolueerd en verbreed. Aanvankelijk werden bagger-technische onderzoeken verricht maar in de loop van de tijd werd het aspect van kostenbeheersing en het milieu steeds belangrijker.

Het sterk veranderende "baggerklimaat" heeft het werk van de stuurgroep MKO niet eenvoudiger gemaakt.

In het totaal gezien hebben de onderzoekers geopereerd in een klimaat waarin de jaarlijkse kosten van baggerwerkzaamheden in de regio Rotterdam ruwweg van 70 naar 30 miljoen gulden daalden. Deze daling is weliswaar mede een gevolg van het inzakken van de baggermarkt maar zeker heeft ook de voortdurende prikkel van het baggeronderzoek en een marktgerichte benadering door de opdrachtgevers bijgedragen tot verlaging van de kosten.

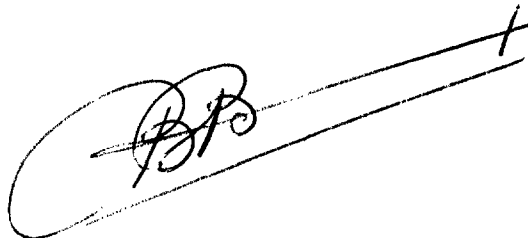
Het op verantwoorde wijze minimaliseren van de baggerkosten door technisch onderzoek, is in de huidige marktsituatie nog weinig zinvol. Dit is een van de belangrijkste redenen waarom MKO een punt zet achter twaalf jaar onderzoek.

Het is met groot genoegen dat de stuurgroep een van zijn laatste taken uitvoert, n.l. het schrijven van dit voorwoord in een publikatie waarin MKO enkele van z'n resultaten aan een breder publiek presenteert.

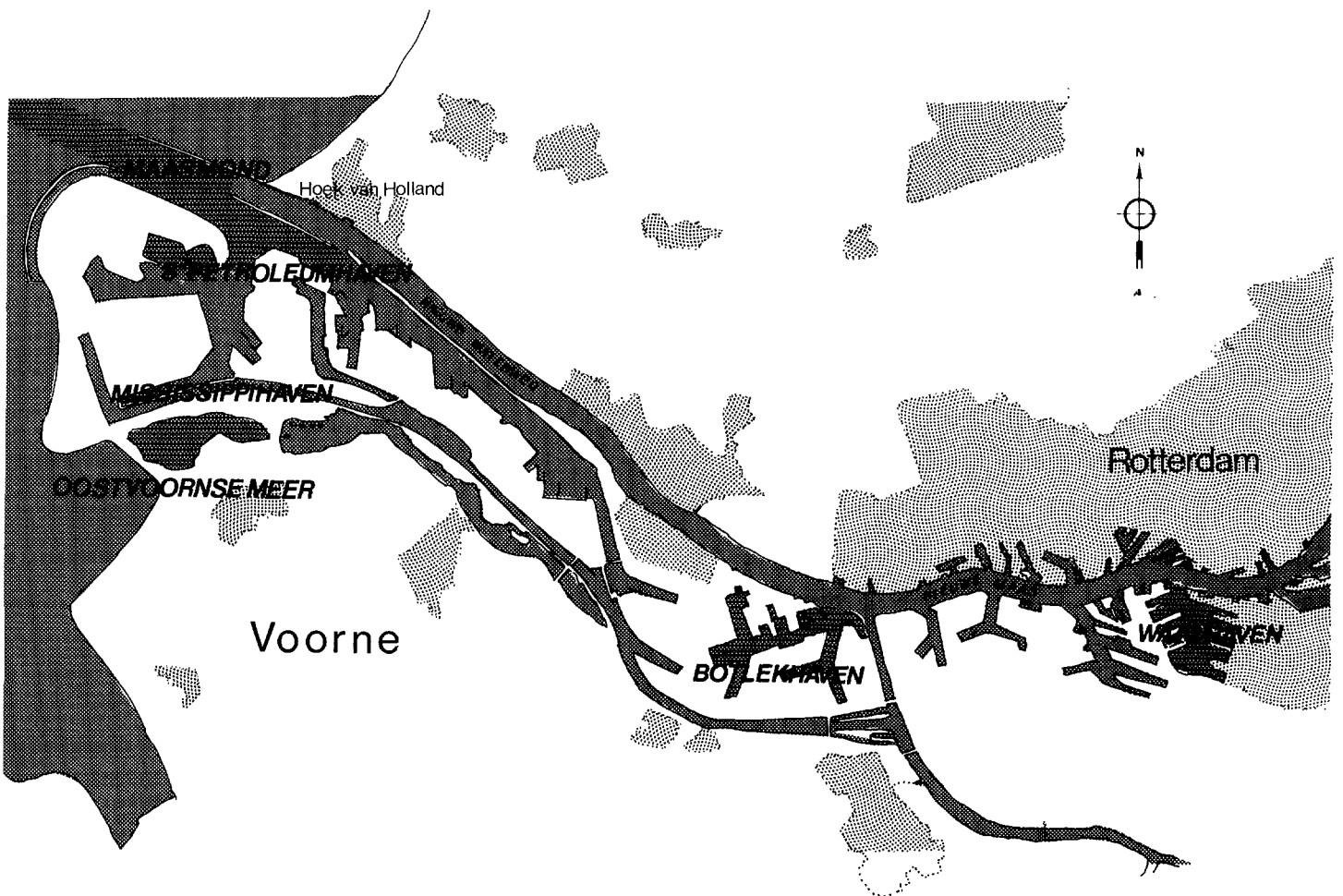
Na lezing van dit werk zal het duidelijk zijn dat veel is bereikt maar dat het einddoel t.a.v. milieutechnisch- en fundamenteel onderzoek nog niet is gehaald.

De stuurgroep wenst dan ook toekomstige onderzoekers alle succes toe.

Namens de stuurgroep MKO
ir. B. Busch

A handwritten signature in black ink, consisting of the letters 'B' and 'B' intertwined, followed by a long horizontal line that ends in a small crossbar.

Rotterdamse waterweggebied



INLEIDING

Twaalf jaar lang hebben de mensen van de MKOgroep zich ingezet om de uitgaven voor het baggerproces beter te kunnen beheersen en te minimaliseren. Nu deze periode wordt afgesloten is het van belang om de resultaten en verworvenheden samen te vatten en na te gaan op welke wijze de nieuwe inzichten vertaalbaar zijn of al vertaald werden naar praktische toepassingen. Er is in die twaalf jaren heel wat gebeurd en veranderd. In die periode werden naast successen, ook teleurstellingen en tegenvallers geboekt. Aan de geboorte van MKO lag een idee ten grondslag, waaraan met elan en overtuigingskracht werd vorm gegeven. De relaties en lijnen waren kort, de inzet en creativiteit was groot. In die eerste periode was de primaire aandacht gericht op het leveren van resultaten. Met groot enthousiasme werd alles wat ook maar een goed idee leek uitgewerkt en verder uitgetoet. Er moest voortdurend geïmproviseerd worden. Het vertrouwen in eigen kunnen was groot. Intuïtie en "fingerspitzengefühl" waren bepalend voor de te ondernemen activiteiten. Maar na enige jaren bleek dat de realiteit vaak veel gecompliceerder is dan het idee. Er kwam meer behoefte aan een analytische benadering van de problemen en meer aandacht voor de te besteden middelen. Er bleken ook grenzen aan de flexibele inzet van medewerkers, er onstonden capaciteitsproblemen. De samenwerkende diensten kregen mede onder druk van een aantal bezuinigingsrondes behoefte aan regels en systemen om de organisatie be-

ter te kunnen beheersen. Dit vroeg zoveel intern gerichte aandacht, dat het contact met de praktijk van de uitvoering van het baggerwerk onder druk kwam te staan. Het beschikken over een goed beheersinstrumentarium was echter voorwaarde om de gerezen problemen het hoofd te kunnen bieden en om resultaten te boeken. De ruimte voor nieuwe initiatieven werd daardoor kleiner.

De projecten werden daarentegen beter onderhouden. Het onderzoek werd beter beheersbaar, efficiënter en meer gestructureerd uitgevoerd. Door de meer fundamentele aanpak werd het inzicht verdiept en kon een groot aantal problemen worden opgelost.

In dit boekwerk is gepoogd om op een samenhangende wijze het gebeuren rondom het baggeronderhoud van de haven van Rotterdam, in het licht van het MKO-onderzoek te presenteren. Achtereenvolgens na een inleiding over organisatie, doelstelling en realisatie van MKO wordt verspreiding van slib in hoofdstuk 2 en de beïnvloeding van de verspreiding van slib in hoofdstuk 3 besproken. In hoofdstuk 4 tot en met 7 komen achtereenvolgens survey, baggertechniek, het baggerproces en bergingstechniek aan de orde.

De samenstellers van dit boek beogen niet het baggeronderhoud in Rotterdam uitputtend te beschrijven. Achter ieder hoofdstuk zijn literatuurverwijzingen opgenomen en na het laatste hoofdstuk zijn alle MKO-rapporten opgesomd.

1. M.K.O. DOOR DE JAREN HEEN

Situatie voor oprichting MKO

De sterke groei van de wereldhandel en wereldeconomie in de naoorlogse jaren leidde tot stormachtige ontwikkelingen op scheepvaartgebied; naast diversificatie van scheepstypen (olietanker, bulkcarriers, containerschepen) trad vooral een sterke schaalvergroting op van de schepen. Vooral de afmetingen van de olietankers groeiden enorm o.a. als gevolg van de toegenomen vaarstanden na sluiting van het Suezkanaal. De veranderingen in de wereldhandelsvloot hadden tot gevolg dat ook de zeehavens drastische wijzigingen moesten ondergaan. Overslagmogelijkheden, diepgang en wachttijden vormden sleutelbegrippen in de concurrentieslag tussen de verschillende Europese havens. Dankzij gigantische investeringen wist de haven van Rotterdam zich te verzekeren van een dominante positie op wereldhandelsgebied. De Rotterdamse haven werd in de periode 1957 tot 1974 sterk uitgebreid door aanleg van Botlek, Europoort en Maasvlakte, terwijl de diepte van toevoerkanalen (Eurogeul, Maasgeul, Maasmond, Caland- en Beerkanaal) en aanliggende havenbekkens in de daar-

opvolgende jaren sterk werd vergroot teneinde schepen tot aanvankelijk 65 ft later 68 ft en thans 74 ft te kunnen ontvangen.

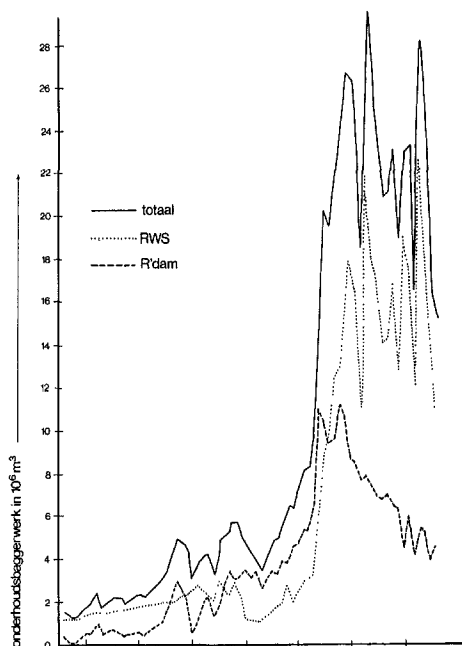
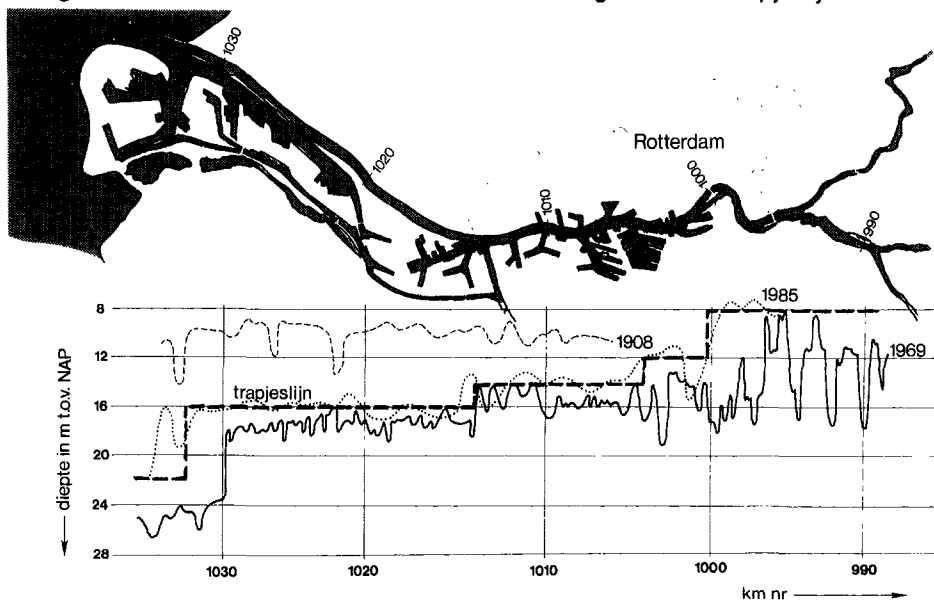
Deze ontwikkeling had ook negatieve effecten. Door de sterke verdieping van de Maasmond werd het morfologisch en hydraulisch evenwicht in het estuarium verstoord waardoor de vaarwegbeheerders geconfronteerd werden met enerzijds het opdringen van de zoutgrens en anderzijds het optreden van zeer sterke aanslibbingen in het mondingsgebied. Het opdringen van de zoutgrens bracht bezwaren mee voor de zoetwatervoorziening en had tot gevolg dat beperkingen moesten worden gesteld aan de maximaal toelaatbare diepte van de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas. Daarom werd de zandwinning in dit gebied geheel verboden, hoewel de vraag naar ophoogzand sterk was toegenomen. De zeer sterke aanslibbingen in het mondingsgebied maakten dat er veel meer gebaggerd moest worden om een onbelemmerde doorvaart voor de scheepvaart te kunnen garanderen.

De berging van baggerspecie door de sterk toegenomen aanslibbingen bracht dan ook de nodige problemen met zich mee.

Niet alleen waren de hoeveelheden gigantisch (ca. 25 miljoen m³ onderhoudsbaggerspecie per jaar) maar ook bleek dat het grootste deel van dit slib vooral in de wintermaanden bezonk in de mond van Europoort in lagen met zeer geringe dichtheid. De hoeveelheid slib die zich na een storm in één week afzette kon de waterdiepte met enkele meters doen verminderen. Hiertegen viel nauwelijks te baggeren. De voor het onderhoudsbaggerwerk verantwoordelijke instanties leefden dan ook op gespannen voet met de nautici die een permanent aanwezige optimale vaardiepte eisten. Als gevolg van de aanleg

Diepte vaarweg op Scheur en Nieuwe Maas.

Om te voorkomen dat het zoute zeewater te ver binnendringt in het rivierenstelsel mag de vaarweg niet te diep worden. Deze maximumdiepte werd vastgelegd als de zogenaamde "trapjeslijn".



Ontwikkeling gebaggerde hoeveelheden van 1916 tot 1986 in het onderhoudsgebied van Rijkswaterstaat en Rotterdam.

De stijging na 1960 wordt verklaard door de bouw van Europoort. De afname voor Rotterdam na 1971 ontstond door het veranderen van de beheersgrenzen tussen Rotterdam en Rijkswaterstaat.

Deze tegenstrijdige belangen van zoetwatervoorziening en scheepvaart maakten het noodzakelijk om de vaarwegdiepte te optimaliseren.

Daarom was het noodzakelijk om over meer continue informatie te beschikken van de bodemligging van de Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg en werden er hogere eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van het werken met baggermaterieel.

Naast afvoer van baggerspecie uit het ene gebied werd ook zand aangevoerd voor andere gedeelten van de Waterweg teneinde zowel de maximaal toelaatbare waterdiepte als de zandhandel te dienen.

en uitbreiding van vele Europese havens hadden de Nederlandse baggeraannemers een bloeiperiode doorgemaakt. De giganten binnen het baggerbedrijf in de Rotterdamse regio waren Volker en Bos Kalis die tijdens de uitvoering van de grote waterbouwkundige werken in het Midden-Oosten de baggermarkt steeds sterker gingen domineren.

Oprichting M.K.O.

De stijgende kosten van het onderhoudsbaggerwerk baarden de afdeling Havenmonden van Rijkswaterstaat, belast met de aanleg van de Maasvlakte en de nieuwe haventoeegangen, grote zorgen. Een teruggrijping van de kosten



werd dan ook noodzakelijk geacht. De afdeling Havenmonden benaderde de gemeente Rotterdam, die het beheer voerde over de aansluitende vaargeulen en havenbekkens en die met vergelijkbare problemen werd geconfronteerd. Teneinde de kosten terug te kunnen dringen was het allereerst noodzakelijk dat de kennis ten aanzien van de verschillende facetten van het aanslibingsgebeuren, het gedrag van het slib, de geëigende baggertechnieken en de kostenfactoren bij het baggeren danig werd vergroot.

Op 17 augustus 1973 werd in Hoek van Holland over deze kwestie overleg gevoerd onder de titel: "De sterke toename van het onderhoudszuigwerk in 1973 op de Rotterdamsche Waterweg, in de aanliggende havens en in de toegang naar Europoort".

Hierbij waren vertegenwoordigers aanwezig van Rijkswaterstaat (, het arrondissement Rotterdamsche Waterweg, afdeling Havenmonden, directie Waterhuishouding en Waterbeweging en de Deltadienst) en Gemeentewerken Rotterdam.

Tijdens dit gesprek werden door de diverse diensten een aantal aspecten met betrekking tot de aanslibingsproblematiek ter sprake gebracht:

- . de mogelijke oorzaken van de sterke toename van de aanslibbing;
- . de kwantiteits- en kwaliteitsaspecten van het slib;
- . de registratiemethode van de aanwezigheid van slib;
- . de mogelijkheden tot het definitief verwijderen van het slib uit havens en vaarwegen;
- . de mogelijkheden om het slib te laten

sedimenteren op van tevoren vastgestelde plaatsen waar het slib tegen de laagste kosten kan worden weggehaald;

- . de relatie met het begrip "nautische diepte".

Voortvloeiend uit het overleg werd op 20 september 1973 tussen de genoemde diensten een inventarisatiebespreking gehouden over de lopende slibonderzoeken in het Noordelijk Deltabekken en het aangrenzende zeegebied.

Hieruit bleek de wenselijkheid om de door de diverse diensten uitgevoerde en in uitvoering zijnde onderzoeken in een groter verband onder te brengen teneinde een betere coördinatie en uitwisseling van kennis en ervaring mogelijk te maken.

Naar aanleiding van bovenstaande problematiek werd besloten het onderzoekproject "Minimalisering Kosten Onderhoudsbaggerwerk" op te zetten. Er werden afspraken gemaakt over organisatiestructuur, planning en kostenverdeling. Uitgangspunten daarbij waren:

- . De basis van het MKO wordt gevormd door de intentie van zowel gemeente Rotterdam als Rijkswaterstaat om zoveel mogelijk in samenwerking het kennisniveau ten aanzien van het slibtransportmechanisme, de baggermethodieken en de bedrijfskundige aspecten op korte termijn te verhogen, zodat beide overheidsinstellingen verantwoorde kostenbesparende maatregelen zullen kunnen treffen.
- . De leiding wordt gevormd door een stuurgroep, waarin Rijkswaterstaat en gemeente Rotterdam zijn vertegenwoordigd.

- . In beginsel zijn beide overheidsdiensten bereid een bedrag overeenkomend met 3 % van het onderhoudsbaggerbudget in de diverse onderzoeken te investeren.

Op deze wijze kreeg het onderzoekproject MKO in juni 1974 gestalte.

Doelstelling

Als hoofddoel van het onderzoeksproject Minimalisering Kosten Onderhoudsbaggerwerk gold:

"Het door bundeling van kennis, mankracht en middelen van de betrokken instanties versneld vergaren van inzicht en kennis ten aanzien van alle mogelijkheden die voor een vermindering van de kosten van het onderhoudsbaggerwerk in de Rotterdamse regio relevant zouden kunnen zijn, teneinde te komen tot concrete voorstellen ter vermindering van de kosten van het onderhoudsbaggerwerk".

Ter realisering van dit hoofddoel werden een drietal subdoelstellingen afgeleid:

$K = Q \times P \times F$ waarin:

K = jaarlijkse kosten van het onderhoudsbaggerwerk;

Q = de hoeveelheid aangeslibd sediment per jaar in tonnen;

P = de inspanning benodigd voor de verwijdering, transport en berging van 1 ton sediment;

F = de prijs die betaald moet worden voor deze inspanning.

Deze subdoelstellingen luiden dan ook:

1. het vergroten van inzicht ten aanzien van de sedimentatie in het onderhoudsgebied teneinde te komen tot concrete voorstellen ter vermindering van de jaarlijkse sedimentatie;
2. het vergroten van inzicht en kennis ten aanzien van de meest efficiënte wijze van baggeren, transporteren en bergen van onderhoudsspecie;
3. het vergroten van inzicht in kostprijfactoren en marktfactoren, teneinde een zo gunstig mogelijke prijs voor het ingezette materieel te kunnen bedingen.

Verdere ontwikkelingen

Gedurende het MKO-onderzoek zijn regelmatig verschuivingen in de hoofd-

aandachtspunten opgetreden. Enerzijds waren deze verschuivingen het gevolg van afronding van deelstudies dan wel de onderkenning van het belang van andere factoren, anderzijds waren deze het gevolg van zes belangrijke gebeurtenissen gerelateerd aan de baggerwerkzaamheden.

Als belangrijke gebeurtenissen in dit kader kunnen worden genoemd:

- de sterke aanslibbing in de winter van '74/'75 waarbij gedurende enkele dagen de toegang tot Europoort gestremd was voor de grootste schepen. Deze gebeurtenis had vooral tot gevolg dat de bepaling van de nautische diepte en de meting en presentatie van slibdichtheid tot hoofdaandachtsveld werd verheven;
- de zeer povere resultaten van de overheden bij de aanbestedingen en prijsonderhandelingen met de aannemers. De kosten hadden mede hierdoor in 1978 een niveau van f 80 miljoen bereikt, terwijl steeds duidelijker werd dat de zittende aannemers een zeer sterke positie bekleedden. Deze onderkenning leidde ertoe dat de terugdringing van het prijsniveau tot hoofdaandachtsveld werd verheven;

- de opkomst van het milieubewuste denken. Hiermee werd vooral gemeente Rotterdam geconfronteerd die steeds meer moeite kreeg om op het land gelegen loswallen ter beschikking te krijgen. De toenemende verontreiniging van de baggerspecie leidde samen met het groeiende milieubesef tot toenemende bezwaren tegen berging van verontreinigd slib. Zowel de mogelijkheden voor het vinden van landlocaties als het storten op zee kwamen steeds meer onder druk te staan.

In verband hiermee kregen slibbergingmogelijkheden, alternatief gebruik van slib en ontwikkeling van alternatieve baggermethodieken, reinigings- en scheidingstechnieken van vervuilde specie en maatregelen om baggerspecie veilig op te slaan, een hoge prioriteit. Temeer daar bleek dat de haalbaarheid van specieberging in het Oostvoornse Meer gekoppeld aan de ontwikkeling van een stationair zuigsysteem verminderte. Een haalbaarheidsstudie voor slibberging in een schiereiland op zee kreeg hoge prioriteit. Dit zou later het project Grootchalige Locatie Berging Baggerspecie (G.L.B.B.) gaan heten. Mede hierdoor nam de interesse van andere Waterstaatsdirecties (met name Noord-Holland)

en Waterhuishouding en Waterbeweging toe, hetgeen resulteerde in deelname aan het MKO-project; de oliecrisis met de daaraan gekoppelde economische teruggang in 1978 die onder andere tot gevolg had dat de bouwmarkt instortte waardoor gebruik van baggerspecie voor baksteenfabricage van minder belang werd. Ook de verminderde vraag naar ophoogzand leidde ertoe dat de aanvoer van zand als retourvracht en routing met sleepzuigers niet langer mogelijk was.

Verder leidde het verminderde werkpakket van de baggeraannemers in Europa en van de zandhandelaren ertoe dat scheuren ontstonden in het samenwerkingsverband van de baggeraannemers. Stimulering van de onderlinge concurrentie en het aanbieden van onderhoudsbaggerwerk aan de zandhandelaren werd van groot belang teneinde het prijspeil te verlagen;

- de sterke uitbreiding van de baggervloot sedert 1981 als gevolg van het gunstige investeringsklimaat (stimulering scheepsbouw, W.I.R.-premie) en het vrijkomen van vermogen verdiend op de grote werken in het Midden-Oosten.

Aangezien deze toename van de vloot samenging met een afname van grote werken op wereldschaal nam de concurrentie de afgelopen jaren zeer sterk toe, waardoor een lage prijs wordt geoffreerd. Dit heeft tot gevolg gehad dat de actieve marketing en het ontwikkelen van goedkope baggersystemen aan belang hebben ingeboet;

Hoofdaandachtspunten

Teneinde de hoofdoelstellingen te realiseren werd voor iedere subdoelstelling een aantal aandachtspunten geselecteerd.

1. Inzicht in de sedimentatie:

- onderzoek naar sedimenttransporten in het Rijnmondgebied (balansstudies);
- onderzoek naar de eigenschappen van sediment in zwevende toestand (slibconcentratieonderzoek);
- onderzoek naar de eigenschappen van sediment in afgezette toestand (consolidatieonderzoek en dichtheidsmetingen);
- onderzoek naar de mogelijkheden om afzetting van sediment te verminderen c.q. op gunstig gelegen plaatsen te concentreren (slibvang, slibschermb, rivierversmalling).

2. Efficiënt baggeren, transporteren en bergen:

- onderzoek naar slibbenuttingsmogelijkheden (baksteenfabricage, kleiverkoop);
- onderzoek naar optimale verrekeningssystemen;
- automatisering baggerregistratie en evaluatie;
- inventarisatie baggermaterieel;
- verbetering van bestaand baggermaterieel;
- verbetering van het slibbaggerproces door middel van proeven.

3. Kostprijsfactoren en marktfactoren:

- het verder ontwikkelen van het "Routeringsprogramma", een computerprogramma waarmee optimale vaarschema's konden worden berekend voor sleepopperzuigers die onderhoudsslib afvoerden naar zee en zand aanvoerden van zee ten behoeve van de zandhandel en het onderhoud van de maximale waterdiepte in het kader van de zoutindringing;
- het opzetten van een databestand voor voor- en nacalculatiedoeleinden;
- het onderzoeken van kostensoorten;
- het onderzoek naar de efficiëntie van hopperzuigers.

In de loop der jaren trad er een verschuiving van de subdoelstellingen op. In 1978 werd een groep van meest efficiënte maatregelen geselecteerd. Als belangrijkste kostenbesparende maatregelen kwamen naar voren:

- de ontwikkeling van het stationaire zuigsysteem onder voorwaarde dat het Oostvoornse Meer beschikbaar zou komen voor specieberging;
- beheersing van de sleepzuigmarkt;
- invoering nautische diepte en aanleg van slibputten.

Als verdere besparende mogelijkheden werden genoemd:

- beïnvloeding van de oppervlaktewaterafvoer;
- benutting slib voor onder andere baksteenindustrie en slibexport;
- luchtbellenscherm in de Botlekhaven.

Later werd onderkend dat de toenemende milieuproblematiek een enorme kostenstijging tot gevolg zou kunnen hebben. Besloten werd daarom een vierde subdoelstelling op te nemen.

4. Het onderzoeken van mogelijkheden om vervuilde baggerspecie op milieuhygiënisch aanvaardbare en financieel aantrekkelijke wijze te verwerken, met

als hoofdaandachtspunten:

- onderzoek naar de consequenties van berging van baggerspecie in het Oostvoornse Meer;
- onderzoek naar de relatie tussen milieueffecten en kosten bij het uitvoeren van bagger- en stortwerkzaamheden;
- onderzoek naar het functioneren van natuurlijke afsluitende lagen rond een baggerstort ter voorkoming van verspreiding van verontreinigingen uit een landlocatie;
- haalbaarheidsstudie van de berging van baggerspecie in een schiereiland voor de kust;
- onderzoek naar immobilisatietechnieken, verwerkingstechnieken en hergebruikmogelijkheden voor vervuilde baggerspecie.

In de jaren 80 is nog een aantal niet op het milieu gerichte projecten opgestart:

- onderzoek naar transport en sedimentatie van slib op de rivier en in de havenbekkens;
- onderzoek naar de belangrijkste parameters van het bodemsediment;
- onderzoek naar de bodemegalysator voor kleinschalig baggerwerk;

- onderzoek naar verhogen van de zuigproductie door beïnvloeding van de zuigkopdiepte en het toerental van de baggerpomp met behulp van het meten van de viscositeit van het mengsel nabij de zuigkop;
- onderzoek naar de fysische en chemische eigenschappen van de na hydrocyclonage verkregen deelstromen met baggerspecie.

Werkwijze

In eerste instantie werd een stuurgroep gevormd door medewerkers van Rijkswaterstaat afdeling Havenmonden en Arrondissement Rotterdam en Gemeentewerken Rotterdam die bij de verschillende lopende onderzoeken van de betrokken diensten een leidinggevende rol vervulden. In de loop van de tijd werden bij de onderzoeken naast medewerkers van Rijkswaterstaat en gemeente Rotterdam diverse onderzoeksinstituten ingeschakeld zoals Grondmechanica Delft, Waterloopkundig Laboratorium, Nederlands Scheepvaart Proefstation, Mineralogisch Technisch Instituut, Institute of Oceanographic Science, Technisch Fysische Dienst, Instituut voor Bo-

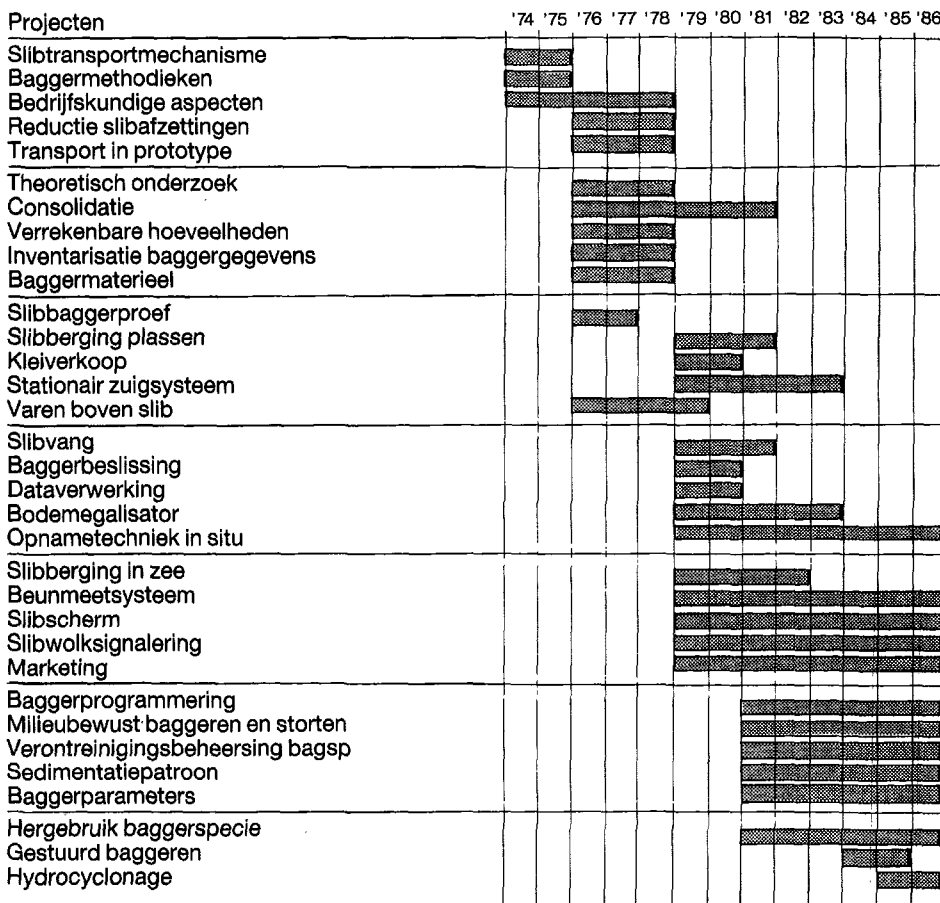
demvruchtbaarheid. Daarnaast hebben ook een aantal bedrijven een bijdrage geleverd.

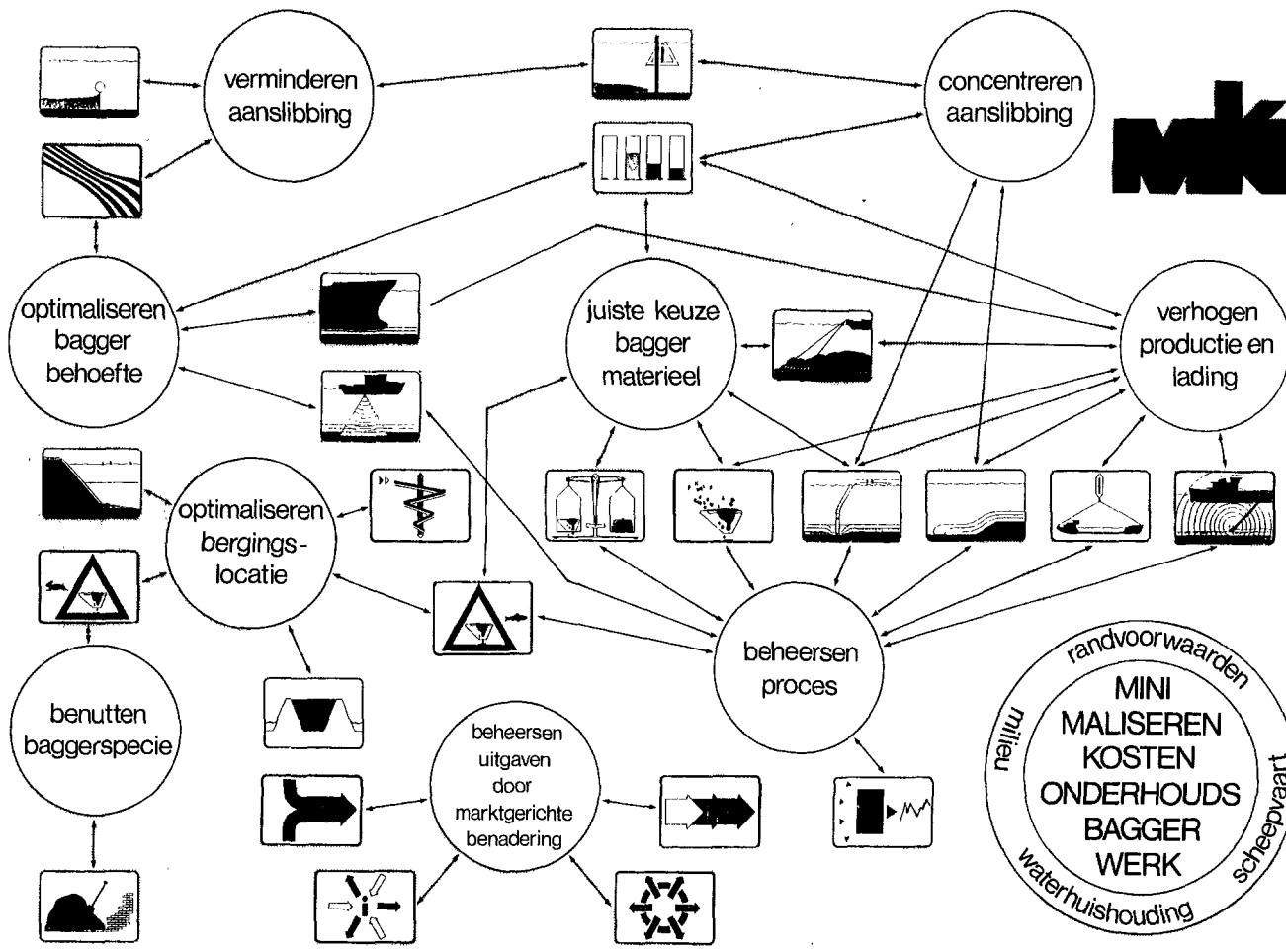
Al spoedig bleek het gewenst om het beleidsniveau nauwer te betrekken bij het doen en laten van het MKO-onderzoek, zodat het onderzoek beter gestructureerd kon worden, terwijl de aanvraag van gelden en het verkrijgen van goedkeuringen eenvoudiger zou kunnen verlopen door het inkorten van de beslissingslijnen.

Dit leidde ertoe dat de oorspronkelijke stuurgroep de status van coördinatiegroep kreeg, terwijl een nieuwe stuurgroep werd geformeerd bestaande uit vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat, (directie Benedenrivieren, en later directie Noordzee en Noord-Holland) en gemeente Rotterdam, (Gemeentewerken en het Gemeentelijk Havenbedrijf).

De besparingen werden geraamd op 45 % van de onderhoudsuitgaven.

De MKO-projecten van 1974 tot en met 1986.





Het onderwerp is zo complex dat het project in een aantal deelprojecten werd opgesplitst om de doelstelling te bereiken. De diverse projectgroepen hadden tot taak om één of meer van de deelprocessen te optimaliseren:

- vermindern van aanslibbing;
- concentreren van aanslibbing;
- optimaliseren van de baggerbehoefte;
- juiste keuze baggermaterieel;
- verhoging productie en lading;
- beheersing van het proces;
- optimaliseren bergingslocatie;
- benutten baggerspecie;
- beheersen uitgaven door marktgerichte benadering.

cie en tenslotte de speciebergings. De diverse projectgroepen hadden als doelstelling de directe of indirecte optimalisatie van een of meer van deze deelprocessen.

Stuurgroep

De activiteiten van de stuurgroep beperkten zich tot:

- goedkeuring van de doelstelling en het werkplan van de verschillende projectgroepen;
- zorg dragen voor de vereiste personele inzet en de financiële middelen;
- besluitvorming omtrent voorstellen

van de coördinatiegroep en de marketinggroep;

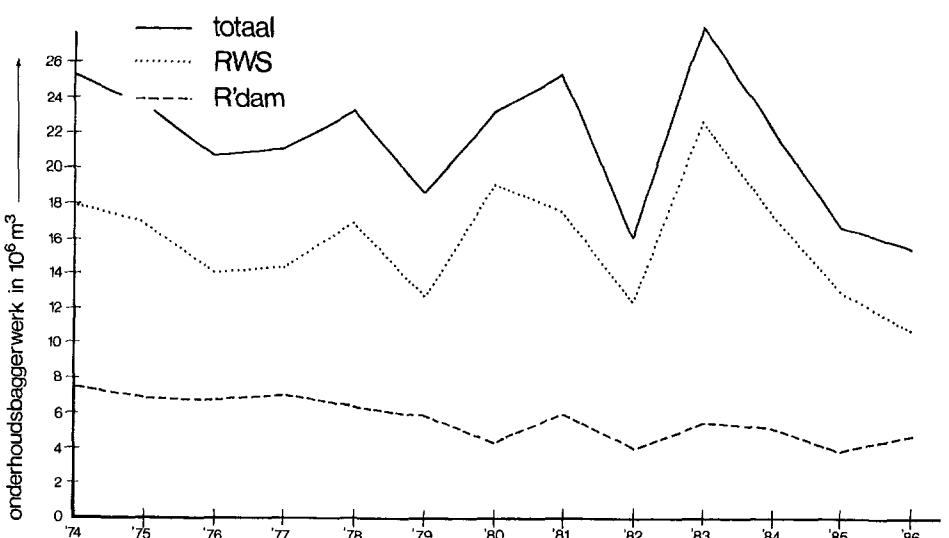
- implementatie van onderzoeksresultaten.

Marketinggroep

De marketinggroep kreeg de opdracht onderzoek te verrichten naar optimalisering van de contractvorming, vraag en aanbod bij baggeractiviteiten en de mogelijkheden van capaciteitsuitwisseling tussen de baggeropdrachtgevers.

Ontwikkeling van het onderhoudsbaggerwerk van 1974 tot en met 1986.

Hiervoor was echter wel een gerationaliseerd management essentieel. De technische ontwikkelingen werden losgekoppeld van de marktgerichte activiteiten. De drie projectgroepen met de daaronder ressorterende werkgroepen werden opgeheven en daarvoor in de plaats werden nieuwe projectgroepen geformeerd met een vastomlijnde opdracht. Iedere groep kreeg een eigen vignet. Daarbij werd uitgegaan van de gehele baggercyclus te beginnen bij het proces van aanvoer en sedimentatie van zand en slib, daarna het opbaggeren en transporteren van de baggerspe-



Coördinatiegroep

De coördinatiegroep kreeg tot taak de binnen de projectgroepen plaatsvindende activiteiten tot één samenwerkend en doelgericht geheel te vormen en te behouden. Zij initieerde onderzoeken en stelde een overall plan op, waarin de doelstellingen en de werkplannen van de afzonderlijke projecten, en de benodigde personele en financiële inzet waren opgenomen.

Zij zorgde voor de bewaking van kosten, tijd, planning en voortgang van de projecten. Zij toetste de activiteiten en resultaten op hun kwaliteit, en stimuleerde de implementatie van de resultaten.

De taak van de projectgroep was het opstellen en uitvoeren van het in het overall plan geformuleerde werkprogramma om de projectdoelstelling te bereiken.

Evaluatie fundamentele kennis

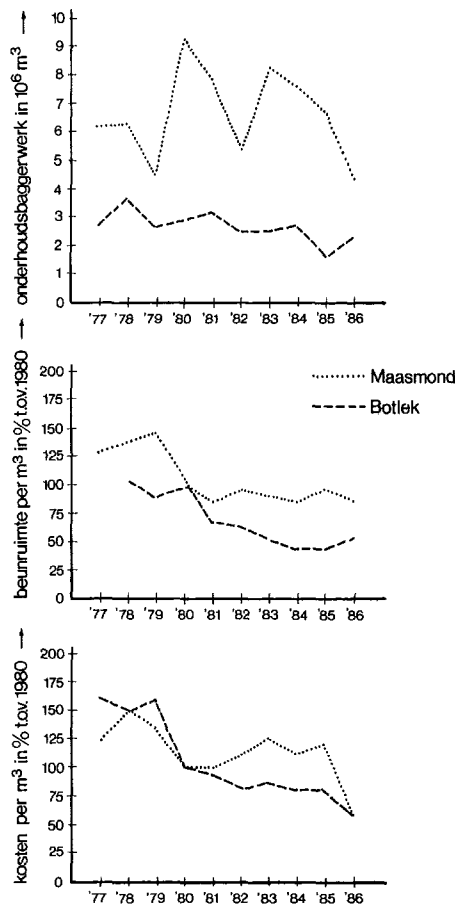
In 1959 werd voor het eerst in Nederland een sleehopperzuiger ingezet. Dit was een omgebouwde steekhopperzuiger. Tot 1976 waren er verder weinig spectaculaire ontwikkelingen meer op het gebied van baggermaterieel. Ook het gebeuren onder het wateroppervlak was voor de betrokkenen vrijwel geheel ondoorzichtig. De traditionele door ervaring gegroeide kennis heeft nu een meer wetenschappelijke basis gekregen.

Door de meer kritische opstelling waren de MKO-partners in staat om de gevestigde ideeën over aanslibbing, materieelinzet, veiligheid, bevaarbaarheid en bergingsmogelijkheden te doorbreken. Van belang zijn:

- vergroting inzicht verspreiding en aanslibbing;
- verbetering aanslibbingsprognose;
- inzicht in stroomgedrag, sedimentatie- en consolidatiegedrag en sterktoename van sediment;
- relatie grond-baggerbaarheid;
- inzicht in processen onder water boven vervuilde bodem;
- inzicht in verspreidingsgedrag bij storten baggerspecie onder water.

Evaluatie marktgerichte benadering

De kennisvergroting van de MKO-partners is een stimulans geweest voor de marktgerichte benadering van het bedrijfsleven. Door de opstelling van de MKO-partners gingen de researchafdelingen van de grote aannemers het belang inzien van onderhoudsbaggerwerk. Realisatie van technische verbeteringen in het zuigproces, zoals onder-



Verloop van de kostprijsbepalende factoren voor twee representatieve gebieden: Maasmond en Botlek.

De totale kosten worden bepaald door de hoeveelheid te verwijderen sediment, de inspanning die hiervoor nodig is en de prijs die per eenheid betaald moet worden. Het blijkt dat deze drie factoren alle verbeterd werden.

water pompen en ontgassing zorgden voor belangrijke produktieverhogingen. Ook het systematisch op uniforme wijze vastleggen en analyseren van produktie- en baggertechnische gegevens heeft geleid tot verbeteringen. Door de onderlinge samenwerking van de baggeropdrachtgevers werd de open mededinging in de baggermarkt bevorderd en werd een betere prijs-prestatieverhouding verkregen voor de aangetrokken baggercapaciteit. Van slechts enkele grote hoppers werd overgestapt naar de inzet van verschillende kleinere sleehopperzuigers die een grote flexibiliteit vertonen. Op moeilijk bereikbare plaatsen zoals bij steigers en kademuren en bij zeer plaatselijke verondiepingen wordt klein baggermaterieel (bodemegalisor) ingezet. Door de uitwisselbaarheid van de hopercapaciteit tussen de MKO-partners wordt de beschikbare baggercapaciteit optimaal benut. In het multifunctionele oliebestrijding-sleehopperwerktuig de Cosmos konden de wensen van de gezamenlijke

opdrachtgevers verwerkt worden. Mede door al deze activiteiten werd een spectaculaire prijsdaling verkregen.

Evaluatie samenwerking

Het gebied rond de Rotterdamse Waterweg is verdeeld in een aantal beheersgebieden. De toegangseuvel in het Noordzeegebied wordt beheerd door Rijkswaterstaat directie Noordzee, de vaarwegen (Nieuwe Waterweg, Scheur, Nieuwe Maas en Oude Maas) vallen onder het beheersgebied van Rijkswaterstaat directie Benedenrivieren, de havenbekkens, Calandkanaal en Beerkanaal worden beheerd door de gemeente Rotterdam (Havenbedrijf en Gemeentewerken). Dat betekent naast een eigen verantwoordelijkheid van de respectievelijke diensten, veel gezamenlijke raakpunten en belangen. Een vierde en vijfde partner zijn de directie Noord-Holland van Rijkswaterstaat die belast is met het onderhoud van de havens van IJmuiden en de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat voor de wetenschappelijke inbreng.

Het verleden heeft geleerd dat het samenwerkingsverband MKO vele positieve gevolgen heeft:

- de onderlinge overdracht van kennis en ervaring heeft geleid tot een meer effectieve aanpak van het hele baggerproces en een beter inspelen op de problemen;
- de gezamenlijke aanpak van onderzoek betekent ook gezamenlijk dragen van de kosten voor onderzoek;
- gezamenlijke marktbenadering leidt tot verlaging van de prijzen voor het onderhoudsbaggerwerk;
- door uitwisseling van capaciteit binnen het onderhoudsgebied van Rijkswaterstaat en Rotterdam wordt het beschikbare materieel beter benut;
- door de openheid ten aanzien van onderzoeksresultaten, gecreëerd door dit samenwerkingsverband, wordt voorkomen dat dublures in onderzoek ontstaan;
- de gezamenlijke aanpak van problemen leidt sneller en goedkoper tot betere oplossingen.

Evaluatie techniek

Mede dankzij de inspanningen van de MKO-partners werd bereikt:

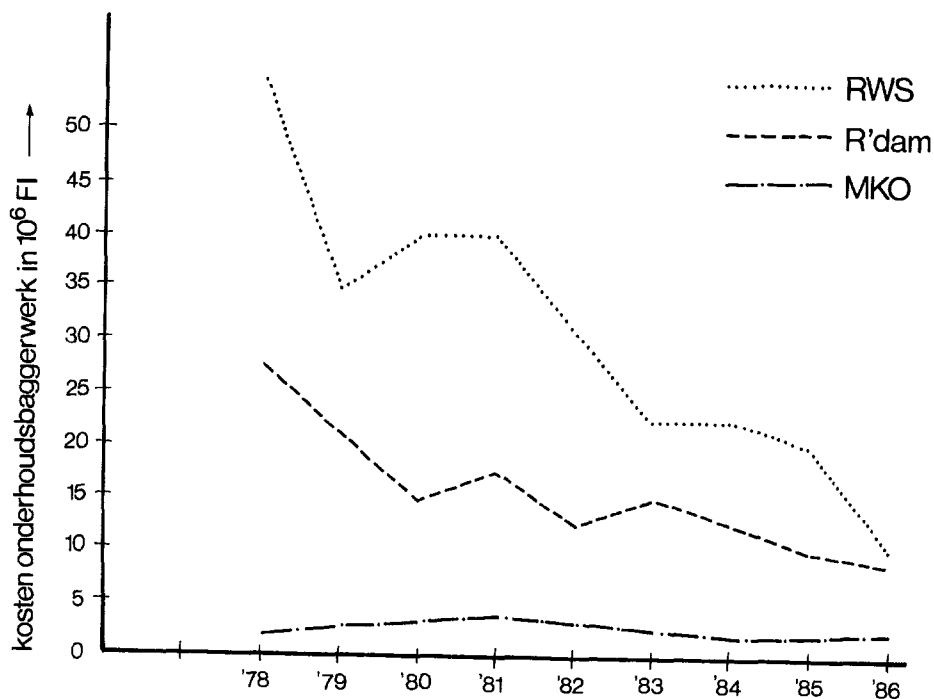
- vermindering aantal verrekenbare m³'s baggerspecie;
- meer terughoudend baggerbeleid;
- routeringsprogramma voor zand-aanvoer en slibafvoer;
- dichter naar garantiediepte;
- varen boven slib (manoeuvreren met

- kleinere kielspeling);
- aanleg sliibvangen;
- aanleg sliibscherm Botlekhaven;
- opnametechnieken voor het meten van de dichtheidsopbouw van aanwezig bodemmateriaal (NLE);
- automatisering plaatsbepaling;
- verbetering rekenmethoden voor transport door leidingen;
- multifunctioneel baggermaterieel (oliebestrijding baggeren);
- meetsysteem beladingsgraad sleep-hopperzuiger;
- toepassing alternatief baggermaterieel (bodemeg);
- geautomatiseerde gegevensinwinning;
- productieverhogingen;
- ontwikkeling hergebruiksmogelijkheden voor vervuilde specie;
- toepassing van de ontwikkelde kennis bij de berging van sterk verontreinigde specie uit de Eerste Petroleumhaven;
- ontwikkeling isolatie van vervuilde specie door natuurlijke materialen;
- aantonen haalbaarheid berging baggerspecie in schiereiland;
- ontwikkeling alternatieve zuig- en storttechnieken voor vervuilde specie;
- beoordelingssysteem hydrocyclonage.

In de navolgende hoofdstukken worden deze items behandeld.

Ten slotte

MKO heeft gewerkt onder de druk van de noodzaak tot behoud van de internationale concurrentiepositie van de ha-



vens, onder druk van de teruggaande economie en de toenemende problematiek ten gevolge van de verontreinigingen in de baggerspecie.

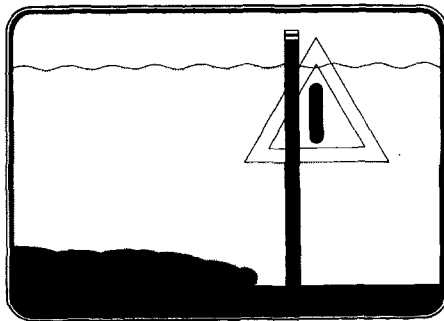
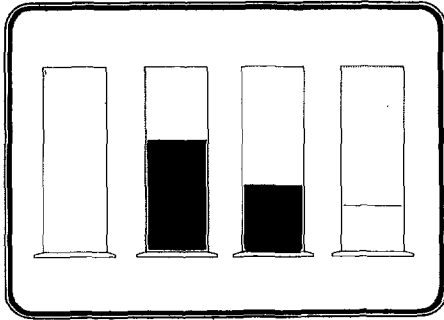
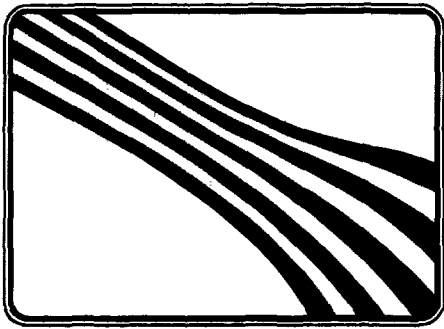
Er is met grote inzet door mensen innoverend gewerkt om de zeker niet geringe problemen op te lossen.

De groep heeft aangetoond dat samenwerking zijn vruchten afwerpt.

Verdere verlaging van de kosten van het onderhoudsbaggerwerk worden steeds moeilijker te realiseren. De taak van MKO is daarmee volbracht. Maar daarmee zijn nog niet alle problemen opgelost en is het geboden om blijvend alert te zijn op de nieuwste ontwikkelingen, om een gelijkwaardige tegenspeler te

Totale jaarlijkse kosten onderhoudsbaggerwerk en MKO van 1978 tot en met 1986.

blijven, om adequaat oplossingen voor praktijkproblemen aan te dragen en om de kosten van het baggerproces te blijven beheersen. Naast het verbeteren en aanpassen van de technische verwoorvenheden is een voortgaande samenwerking van deze en wellicht meer diensten een goede zaak.



2. SLIBVERSPREIDING

Aan de hand van baggercijfers is een redelijk goede vertaling te maken naar sedimentatiehoeveelheden per gebied. Ook is de herkomst van het slib te bepalen aan de hand van de mineralogische samenstelling.

Het onderzoek naar diverse complexe eigenschappen heeft de laatste jaren grote vorderingen gemaakt. Ook MKO heeft via het continu meten van slibconcentraties en het ontwerpen van de zogenaamde slibbol de kennis omtrent slib vergroot.

Maar het maken van een model dat de cyclus, sedimentatie, erosie en transport beschrijft blijkt nog steeds een te ingewikkelde zaak. Door de MKO-ontwikkeling van een ééndimensionaal sedimentatiemodel inclusief de invloed van neren voor een havenbekken met vertakkingen, is de wetenschap toch weer een stapje verder.

Inleiding

De jaarlijks gemiddelde hoeveelheid te baggeren slib van 15 à 20 miljoen m³ slib wordt in het Rotterdamse havengebied aangevoerd enerzijds door de rivieren Rijn (veruit overheersend) en Maas, anderzijds vanuit zee. Globaal in de verhouding 1 : 3 à 5. De onzekerheid in de verhouding komt niet zozeer voort uit grote jaarlijkse verschillen, maar veeleer uit onbekendheid met het verschijnsel. Schattingen van de hoeveelheid slib die aangevoerd wordt door de rivier lopen nogal uiteen. Aanvoer uit zee vormt over het algemeen de sluitpost. De meettechnieken zijn in zekere zin nog te weinig ontwikkeld om aan de hand van metingen nauwkeurige en sluitende slibbalansen op te stellen. Daarnaast is een belangrijke oorzaak van gebrek aan kennis het feit dat slib zich niet goed laat modelleren in een hydraulisch schaalmodel. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de mogelijkheden bij het modelleren van het zandtransport. De oorzaak moet gezocht worden in het wisselende gedrag van slib. De eigenschappen van slib veranderen niet alleen door bijvoorbeeld afbraak van het organische bestanddeel van het slib, maar ook door een wisselend zoutgehalte en een wisselende turbulentie-intensiteit van het omringende water en bij een veranderende slibconcentratie.

De inzichten in de slibtransportmechanismen zijn daarom nog relatief gering en voorspelling van aanslibbing berust veelal op een aantal onzekere hypothesen. Uiteraard is het evenwel na vele jaren van onderzoek en metingen in situ wel mogelijk een globaal beeld te schetsen van het voorkomen en het gedrag van slib in het Rotterdamse havengebied.

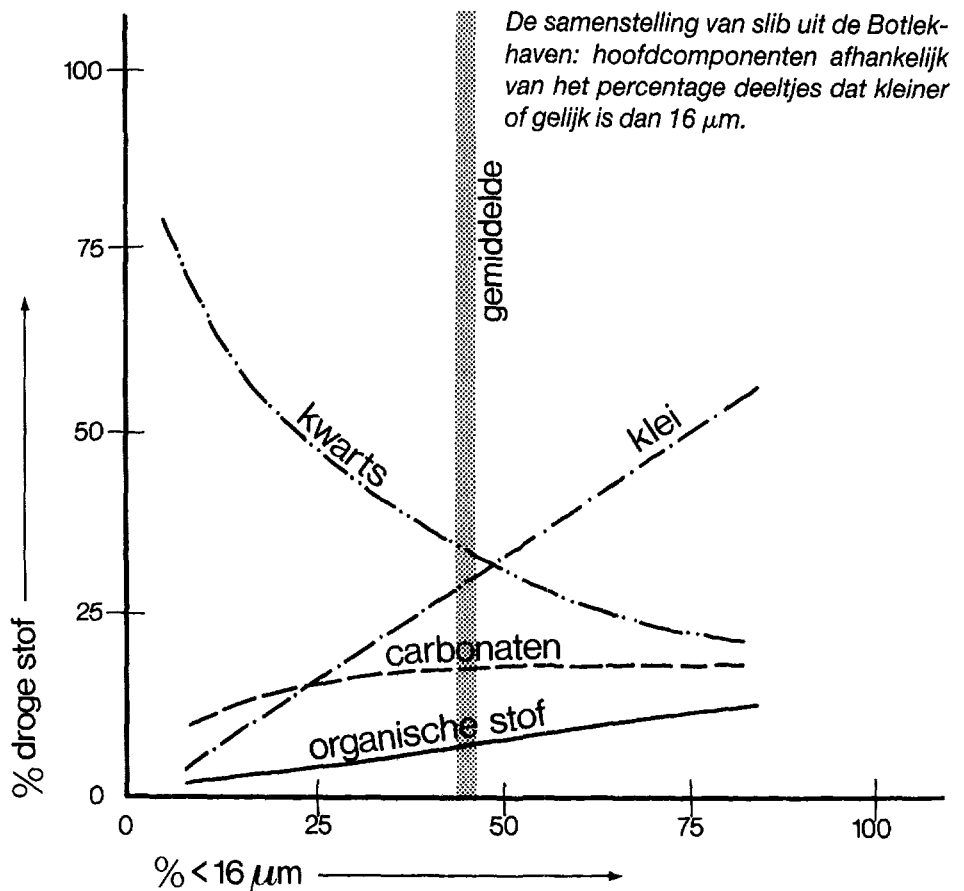
Oorsprong

De slibaanvoer geschiedt vanuit zee en vanaf de rivier. Uiteraard is een deel van het uit zee aangevoerde slib eerder daarin bezonken rivierslib. De door de rivieren Rijn en Maas aangevoerde hoeveelheid wordt geschat middels analyse van continue metingen van het slibgehalte op diverse punten in de bovenrivieren. De wijze van bepalen introduceert onnauwkeurigheden, onder meer

door inhomogeniteiten in de verticaal en in de bemeten dwarsraai. Daarnaast is het aannemelijk dat het slib dat accumuleert in de stuwpanden en vervolgens bij het trekken van een stuw plotseling vrijkomt het gemiddelde nogal kan vertekenen. De aanvoer vanuit zee komt voor het merendeel vanaf de zuidelijke Noordzee (Vlaamse banken), maar bevat ook een aandeel dat terugkomt van loswal Noord. Op loswal Noord vinden nl. continu stortingen van baggerspecie plaats. De grootte van de retourstroom vanaf de loswal Noord wordt geschat op 10 à 40 % van het gestorte volume. Dit aandeel is tot dusver zeer moeilijk te bepalen, omdat duidelijk lijkt dat de retourstroom voornamelijk tijdens noordwesterstormen plaatsvindt. Een omstandigheid waarbij meten vanaf schepen niet mogelijk is. Helikoptermetingen zijn nog niet routinematig uitgevoerd, uiteraard vanwege de hoge kosten die daaraan zijn verbonden. Recent ontwikkelde meettechnieken m.b.v. vaste platforms op de zeebodem kampen tot nu toe met veel kinderziekten. Een betrouwbaar beeld is ook daaruit nog niet voortgekomen. Goede betrouwbare tracermetingen zijn nog niet uitgevoerd. Rhodamine en radioactieve tracers zijn niet toepasbaar vanwege de eraan verbonden ecologische bezwaren. Mogelijk dat in de nabije toekomst de recent ontwikkelde tracer "Day-glo" uitkomst zal bieden. Door rivieren en zee aangevoerd slib bezinkt in het havengebied op de plaatsen waar de stroming onvoldoende is het slib in suspensie te houden. Een verschijnsel dat in grote mate bijdraagt in de aanslibbing is de dichtheidsstroming die ontstaat op het grensgebied tussen het zoete rivierwater en het zoute zee-water. Het zoete water stroomt af over het zoute water. Op het grensvlak ontwikkelt zich een zogenaamde zouttong die elk getij een eind heen en weer schuift op de Nieuwe Waterweg. Het zoutere, zwaardere water dringt op onder het lichtere, zoetere water. Zodra de zouttong een havenbekken bereikt ontstaat tussen havenbekken en rivier een uitwisselingsstroom waarbij in principe het zoetere water uit de haven wordt verdrongen door het zoute water. Tijdens eb vindt het omgekeerde proces plaats. Deze extra uitwisseling van water, boven de normale wateruitwisseling t.p.v. de getijbeweging, het getijvolume, is in hoge mate verantwoordelijk voor de aanslibbing.

Eigenschappen van slib

Het is erg moeilijk een alles omvattende



definitie van slib te geven. Microscopisch gezien is het een willekeurig mengsel van organische stof en anorganische deeltjes, met daarin een hoeveelheid micro-organismen. Het organische-stofgedeelte is afkomstig van natuurlijke productie en huishoudelijke en industriële afvalwaterlozingen. Het gehalte aan organische stof in rivierslib varieert tussen 10 en 40 %. Het anorganische gedeelte is ontstaan door erosieprocessen in het stroomgebied van de rivieren dan wel in zee. Verondersteld wordt dat een niet onbelangrijk deel van het zeeslib in de Nederlandse kustwateren afkomstig is van de voor de Belgische kust gelegen Vlaamse banken. Slib is in het water, voornamelijk in de vorm van vlokjes en aggregaten van vlokjes aanwezig. De vloggrootte varieert van 10 tot 250 μm.

Slib bestaat uit kwarts, kleimineralen, anorganische calcium-, ijzer-, aluminium- en mangaanverbindingen en organische stof. De onderlinge verhouding van deze elementen hangt erg af van de korrelverdeling en de plaats van herkomst van een slibmonster. Zwend slib bevat meer organisch materiaal, vlak boven de bodem getransporteerd slib bevat meer kwarts.

De uitdrukking "slib" zal verder worden gebruikt voor alle door het water meegevoerde, of meegevoerde en afgezette mineralen en organische deeltjes. Hiervan heeft verreweg het grootste deel

een kleinere valsnelheid dan een kwartsbolletje met een diameter van 60 μm. De korrelverdeling is afhankelijk van de situatie.

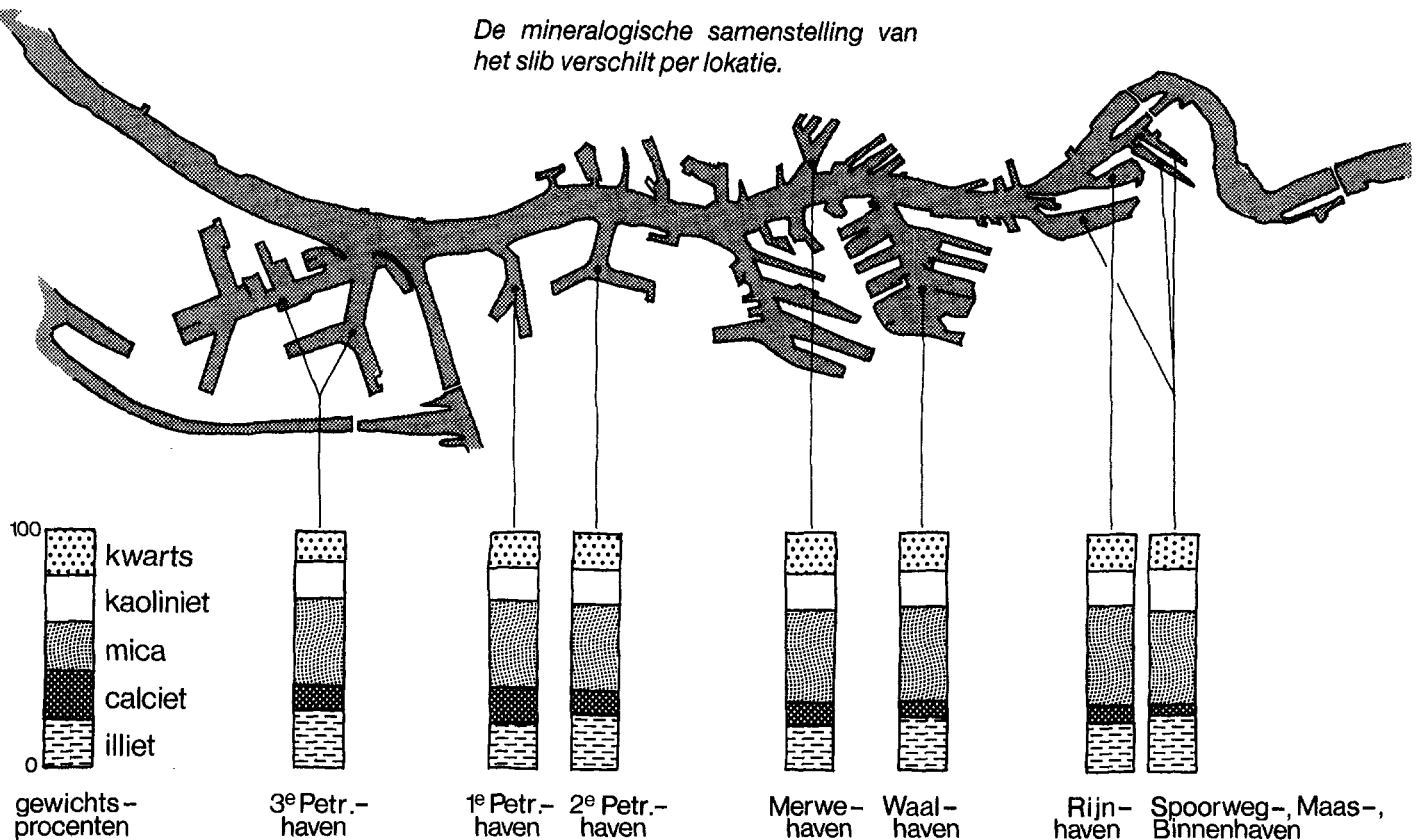
Eigenschappen van slib in water

Kleine slibdeeltjes kunnen met water min of meer stabiele mengsels vormen. Bij zeer fijne deeltjes (< 0,5 μm), welke eigenlijk niet meer binnen de hier gebezigde definitie van slib vallen, spreekt men van een colloïdale oplossing. De deeltjes zakken slechts zeer langzaam uit. Als die deeltjes groter zijn en het uitzakken in kortere tijd gebeurt, spreekt men van een suspensie.

Onder bepaalde omstandigheden kunnen slibdeeltjes samenkleven, flocculeren, waardoor de valsnelheid wordt vergroot. De door de vlokvorming vergrote valsnelheid heeft, indien de stromingscondities dat toelaten, sedimenteren van slib tot gevolg. Bij sedimentatie vormt zich vlak boven de bodem een laag slib met zeer hoge concentratie. Deze laag heeft meestal een scherpe afscheiding met het bovenliggende water. Bij een zeer snel verloop van de sedimentatie kan de gevormde laag zich als een dichtheidsstroom (fluid mud) gedragen.

Na afzetting van een sliblaag op de bodem zal in de tijd de dichtheid, het gasgehalte (door de afbraak van de organische stof) en de sterkte (weerstand te

De mineralogische samenstelling van het slib verschilt per lokatie.



gen erosie en belangrijke baggerparameter) toenemen, terwijl het watergehalte afneemt. Dit proces heet consolidatie.

Veranderde stromingscondities kunnen het afgezette slib weer opwoelen van de bodem, het eroderen. Het transportmechanisme van slib in water is zeer gecompliceerd. De slibgehalten op een bepaald punt kunnen in korte tijd sterk variëren, het slib passeert in wolven. Over het algemeen zijn de gehalten bij de bodem groter dan bij het oppervlak. Transport vindt plaats onder invloed van de waterbeweging, waarbij tijdelijk door hoge concentraties aan slib in de verticaal grote transporten kunnen optreden. Bij de aanwezigheid van een zeer dunne meebewegende laag direct boven de bodem, die onder bepaalde omstandigheden kan optreden (fluid mud), kan het slibtransport eveneens groot zijn. Wetmatigheden in het transportmechanisme van slib zijn nog nauwelijks bekend.

Flocculatie

Flocculatie is het proces van vlokvorming, het samenkleven van fijne slibdeeltjes. Deze vlokvorming wordt erg versterkt bij de aanwezigheid van elektrolyten opgelost in water, aangezien een verhoogde ionsterkte de afstotende krachten tussen de slibdeeltjes doet afnemen, terwijl de aantrekkende krachten, de Van der Waals krachten, gelijk blijven. Flocculatie wordt geconstateerd in verontreinigde rivieren en in

versterkte mate in brakke en zoute delen aan de benedenloop van een rivier die in zee uitmondt. Door flocculatie ontstaan vlokken met valsnelheden die vele malen groter zijn dan de valsnelheden van de samenstellende individuele slibdeeltjes.

Voor flocculatie is echter nog een andere belangrijke voorwaarde noodzakelijk. De deeltjes moeten in elkaars nabijheid worden gebracht. Dit kan bewerkstelligd worden door de Brownse beweging, snelheidsverschillen in het water en door verschillen in valsnelheid. Het blijkt dat de Brownse beweging onder de gegeven omstandigheden zeer weinig bijdraagt aan de flocculatie. Alleen deeltjes kleiner dan ca. 2 μm kunnen enige snelheid van betekenis krijgen. Snelheidsverschillen in het water (turbulentie) spelen een veel belangrijker rol. Als de deeltjes in suspensie verschillende diameters of dichtheden hebben dan zal de mate van flocculatie binnen korte tijd snel toe kunnen nemen. Met name bij weinig turbulentie, rond stroomkentering, zullen de deeltjes kunnen groeien tot grote vlokken, die snel uitzakken op de bodem. De vlokken, ontstaan door snelheidsverschillen tussen waterlaagjes, zullen compacter zijn dan de vlokken gevormd door een verschil in valsnelheid. Dit omdat een zwakke grote vlok nabij de bodem, daar waar de snelheidsgradiënten juist het grootst zijn, een grote kans bezit in kleine vlokjes uiteengeslagen en weer opgewerveld te worden.

Valsnelheid

Zoals uit het voorgaande moge blijken is de valsnelheid van slib niet eenvoudig aan te geven.

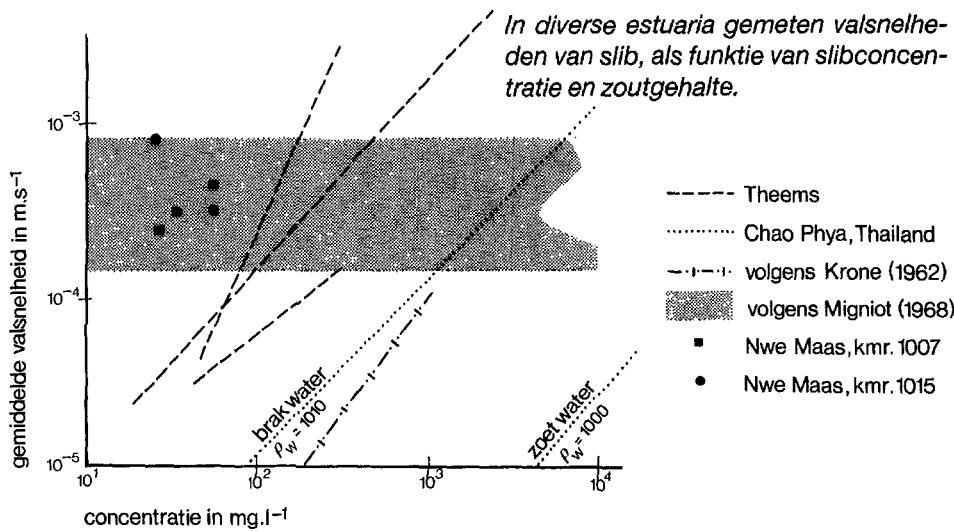
De bezinksnelheid van een slibdeeltje is afhankelijk van de mate van turbulentie in de stroming, de flocculatiegraad (afhankelijk van concentratie, zoutgehalte, diepte, samenstelling), de watertemperatuur en de vloksterkte.

Hogere concentratie leidt in principe tot verdergaande flocculatie en daardoor tot grotere valsnelheden, tenzij de concentratie zo groot wordt dat door het ontwijkende water de effectieve valsnelheid lager wordt (gehinderde bezinking). Een illustratie voor dit laatste is de fluid mud-laag die in die gevallen ontstaat.

Over het algemeen is een redelijke aanname voor de bezinksnelheid in stil brak/zout water een valsnelheid van 0,5 mm/s bij lage slibconcentraties in estuaria. Deze waarde is veelvuldig elders ter wereld in estuaria waargenomen en wordt ook in het Rotterdamse havengebied veelvuldig gevonden als gemiddelde waarde voor de valsnelheid van het aangevoerde zwevende slib.

Bij opwerpen van slib tijdens baggerwerkzaamheden en onder invloed van scheepsbewegingen is sprake van grotere valsnelheden. Het slib behoudt dan voor een groot deel de samenhang (grote vlokken) die reeds op de bodem aanwezig was.

Bij metingen rondom een groot scala van baggerwerktuigen zijn valsnelhe-



den gevonden die een factor 5 à 10 groter zijn dan voornoemde 0,5 mm/s.

Sedimentatie

Wanneer de valsnelheid van de deeltjes (vlokken) bekend is, is de afzetting van materiaal op de bodem in stilstaand water eenvoudig te berekenen. Bepaling van de afzetting in stromend water is ingewikkelder door de bepalende invloed van de turbulentie op de valsnelheid, en op het weer in suspensie komen van slib. Ook speelt de slibconcentratie een belangrijke rol, enerzijds t.a.v. de flocculatie en mogelijke gehinderde bezinking, anderzijds door de invloed van de concentratie op de turbulentiestructuur. Al bij concentraties groter dan ca. 150 mg/l, wordt de turbulentie onderdrukt. Op vele laboratoria is onderzoek uitgevoerd om inzichten hierin te verhogen.

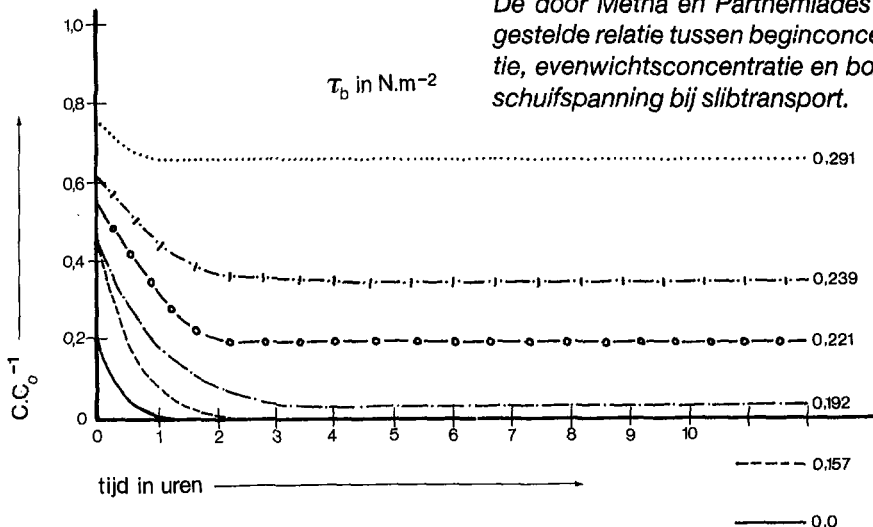
Duidelijke wetmatigheden daarin zijn voor het Rotterdamse havengebied evenwel nog niet aangetoond.

Gebruik van bepaalde relaties impliceert dat nogal onzekere aannamen gedaan moeten worden t.a.v. de valsnelheid van het sediment en de kritische

schuifspanningssnelheid voor sedimentatie. De waarden hiervoor zullen nauw samenhangen met de slibsoort. Waarden die voor deze parameters lijken te gelden in andere gebieden behoeven niet te gelden voor het Rotterdamse havengebied. Bovendien moet er rekening mee worden gehouden dat zowel de valsnelheid als de kritische schuifspanningssnelheid voor sedimentatie afhankelijk zijn van de flocculatiegraad. Bij lage concentraties (orde 100 mg/l) zal dit een zeer geringe rol spelen, bij hoge concentraties (groter dan 1000 mg/l) is dit zeker van belang. Daarnaast is op grond van laboratoriumexperimenten gebleken dat bij slibtransport ook sprake kan zijn van evenwichtsconcentraties. Zij het dat in tegenstelling tot zandtransport daarbij zeer waarschijnlijk geen intensieve uitwisseling plaatsvindt tussen bodem en stroming.

Een ander belangrijk verschil is dat de evenwichtsconcentraties bij slibtransport mede afhankelijk zijn van de oorspronkelijke concentratie. De achterliggende hypothese luidt als volgt: in een slibsuspensie is een aantal bindingen

De door Metha en Parthemiades vastgestelde relatie tussen beginconcentratie, evenwichtsconcentratie en bodemschuifspanning bij slibtransport.

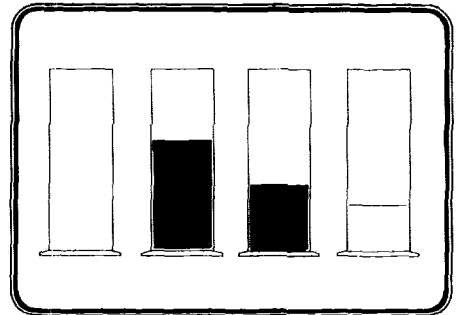


tussen deeltjes mogelijk, welke in sterkte variëren. Wanneer in de suspensie bij verschillende (lage) slibconcentraties één zelfde percentage sterke bindingen mogelijk is, heeft dit tot gevolg dat ook een bepaald percentage sedimenteert en de rest bestaat uit vlokken met zwakke binding, die te zwak, te klein of te licht zijn om de schuifkrachten in de buurt van de bodem (of in een andere grenslaag) te weerstaan.

Consolidatie

Men spreekt van consolidatie wanneer er na bezinking een laag ontstaat waarin de wateroverspanningen afnemen en de korrelspanningen toenemen. Hierdoor ontstaat een dichtere pakking van het korrelskelet, met als gevolg een grotere sterkte en weerstand tegen afschuiving. Een zeer belangrijke parameter m.b.t. de snelheid waarmee de consolidatie plaatsvindt is het zandgehalte.

Daarnaast treedt het verschijnsel op dat ook bij gelijkblijvende dichtheid (kg per in situ m³) de weerstand tegen afschuiving toeneemt bij toenemend gasgehalte.



De weerstand tegen afschuiving is een bepalende parameter voor het hierna beschreven erosieproces. Nog meer belangstelling is er echter naar uitgegaan i.v.m. het belang van deze parameter bij het baggerproces (productie, natuurlijke diepte, surveymogelijkheden etc.).

Erosie

Erosie is het loskomen van deeltjes uit de bodemstructuur welke (weer) gaan deelnemen aan de processen in de waterkolom. Belangrijke parameters bij dit proces zijn de bodemschuifweerstand, de cohesie, de aard van het sediment, de stroomsnelheid en de turbulentie-intensiteit.

De wijze van aantasting van de bodem varieert van losraken van individuele deeltjes of kleine pakketjes van deeltjes vanaf de bodem, instabiel worden van een fluid mud-laag, tot losbreken van grote delen uit de bodem ten gevolge van het overschrijden van de bodem-

schuifweerstand. De erosiesnelheid wordt veelal gerelateerd aan de mate van overschrijding van een hydraulische parameter (stroomsnelheid, schuifspanning aan de bodem of schuifspanningssnelheid). Voor iedere slijsoort zou bijvoorbeeld een kritieke schuifspanningssnelheid voor erosie geformuleerd kunnen worden. De huidige inzichten en meetmogelijkheden maken evenwel niet meer dan een zeer globale schatting van deze parameter mogelijk. Hiervoor wordt verwezen naar de desbetreffende literatuur. Wetmatigheden, geldend voor het Rotterdamse havengebied, zijn nog niet voorhanden. Bij het opwervelen van slijb lijkt het zogenaamde "bursting process" een belangrijke rol te spelen. Dit is het verschijnsel waarbij het slijb intermitterend in wolken wordt opgewerveld door van nature aanwezige wisselingen in de grootte van de turbulente schuifspanningen op de bodem. Daarin komen piekwaarden voor die 10 à 30 maal zo groot zijn als de gemiddelde turbulente schuifspanning. Uit metingen van slijbgehalte blijkt zeer duidelijk dat het in suspensie aanwezige slijb vaak in wolken wordt getransporteerd.

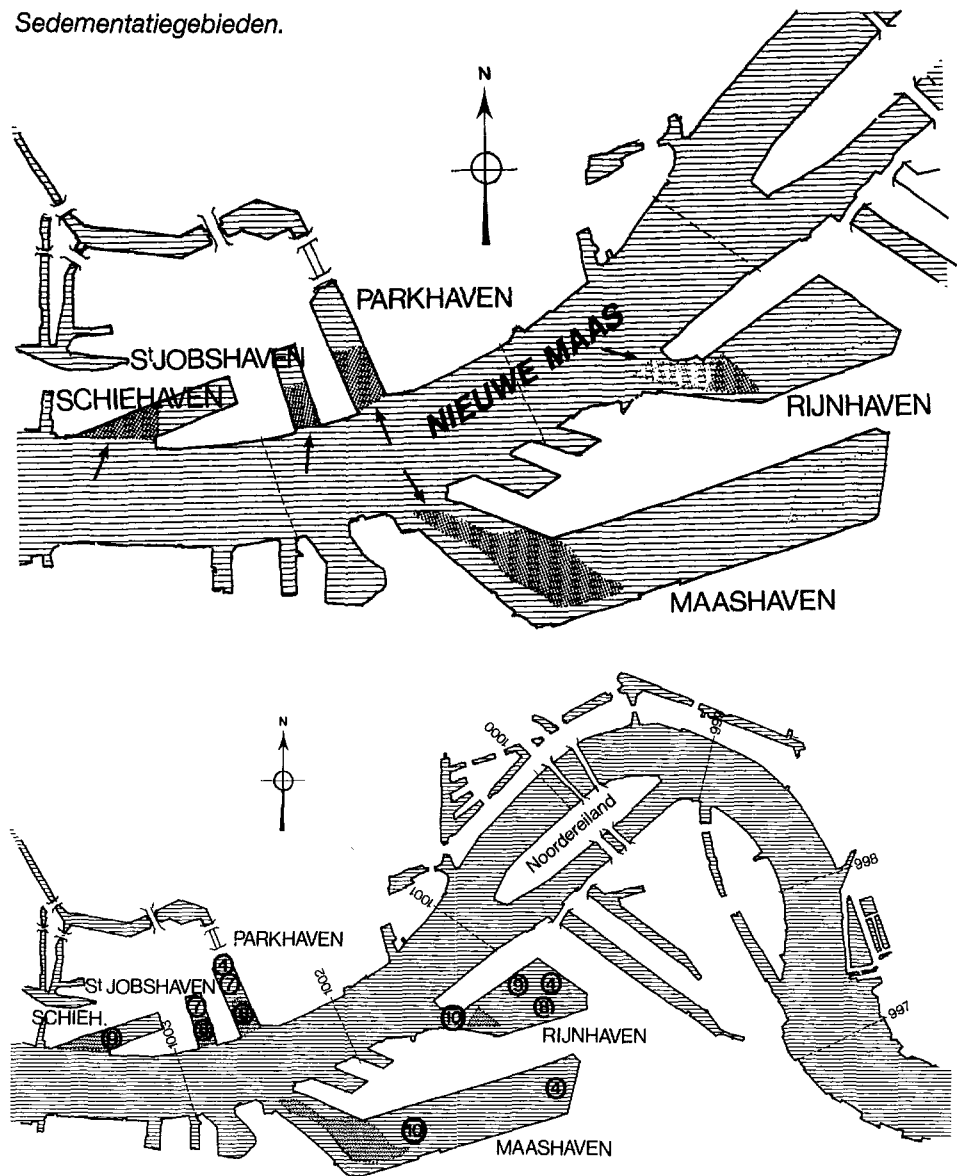
Een ander fenomeen wat zich voordoet is de onderdrukking van de turbulentie in een stroming met cohesief materiaal. Dit verschijnsel is geconstateerd voor waarden vanaf 150 mg/l voor een kleisuspensie in zeewater. Bij hoge slijbgehalten betekent dit dat het snelheidsprofiel wijzigt. De viskeuze laag wordt dikker en de schuifspanningssnelheid en daarmee de schuifspanning in de viskeuze laag wordt kleiner. Indien het erosiemechanisme grotendeels wordt bepaald door de stroming in de viskeuze laag (de grenslaag tussen bodem en stroming) betekent dit, dat een toename van de slijbconcentratie in suspensie gepaard zal gaan met een afname van de erosie.

Slijbverdeling binnen het havengebied

De snelheid van de aanslibbing in de diverse gedeelten van het havengebied verschilt sterk. Belangrijke geometrische omstandigheden zijn daarbij de afstand tot de zee (grote aanslibbing in de Maasmond en z.g. bufferput) en de plaats van de zouttong (grote aanslibbing in de Botlekhaven).

N.B. Deze plaats is sterk gerelateerd aan de rivierafvoer. Bij hoge rivierafvoer in Nieuwe Waterweg en Scheur. Bij lage rivierafvoer tot in de Nieuwe Maas. Aangevuld met de volgende lokale havenparameters zoals de havendiepte (toenemende aanslibbing bij toene-

Sedimentatiegebieden.



⑧ contractdiepte in m-NAP

mende diepte) en de koelwateronttrekking, dan wel lozing in de haven (grote aanslibbing in de Schiehaven is bijvoorbeeld toe te schrijven aan de onttrekking voor de G.E.B.-centrale).

Binnen een havenbekken verschilt de snelheid van aanslibben sterk. Over het algemeen is de aanslibbing het grootst in de mond van de haven. De bezinkingsnelheid van de aanwezige slijbvlokken is over het algemeen groot in verhouding tot de stroomsnelheid in een haven, zodat het merendeel van de slijbvlokken al is bezonken voordat de slijbvlokken ver de haven zijn ingetrokken. Indien evenwel de havenmond en haven direct achter de mond relatief smal zijn en het getijvolume groot is, dan vindt de bulk van de aanslibbing meer haveninwaarts plaats (Maashaven). De stroomsnelheden rond de mond zijn dan te groot voor aanslibbing in of direct na de mond.

In een haven met forse onttrekking van koelwater vindt de aanslibbing eveneens niet zozeer in de havenmond,

maar meer verdeeld over de haven plaats.

Transport

Veruit overheersend voor wat betreft omvang van de aanslibbing per jaar zijn geografisch gezien de omgeving Maasmond (splittingspunt Calandkanaal Beerkanaal) en de Botlekhaven. De omgeving Maasmond, omdat daar de bulk van het uit zee binnendringende slijb sedimenteert (percentage zeeslijb groter dan 90 %). De Botlekhaven omdat onder gemiddelde omstandigheden juist voor de mond van de Botlekhaven de zouttong heen en weer schuift (verhouding zeeslijb/rivierslijb ongeveer 50/50).

Het slijbtransport kan op de volgende verschillende wijzen plaatsvinden:

- in een min of meer homogeen verdeelde suspensie, veelal bij lage slijbgehalten;
- onregelmatig, verdeeld in wolken, of zelfs één zeer grote wolk, die zich

min of meer als afgescheiden laag verplaatst;

in een laag over de bodem. Onderscheiden in een dunne laag (dikte orde centimeters) of een dikke laag, de eerder vermelde fluid mud (dikte orde meters). Dit onderscheid wordt gemaakt omdat een dikke laag ook autonoom als dichtheidsstroom kan bijdragen aan slibtransport.

Alle drie deze transportmechanismen worden in het havengebied waargenomen. Het is zelfs zo dat er plaatsen zijn waar naar verwachting alle drie deze transportmechanismen plaatsvinden binnen één getijperiode.

Een kwantitatief beeld van de afzonderlijke aandelen van de transportmechanismen in de totale aanslibbing is moeilijk te bepalen. Van het aandeel van het transport in centimeters dunne lagen vlak boven de bodem is in het bijzonder zeer weinig bekend. Verklaring van de wijze van aanslibbing berust dan ook op een aantal, onderling verschillende, hypothesen. Bijvoorbeeld, indien op basis van veelvuldig gemeten slibgehalten en waterbeweging het netto intrekking slibtransport in de Botlekhaven bepaald wordt, blijkt men slechts ca. 35 % van de totale aanslibbing te kunnen verklaren.

Het kan zijn dat de metingen erg onnauwkeurig zijn of dat de omstandigheden niet representatief zijn. Ook is het mogelijk dat het sediment in hoofdzaak getransporteerd wordt in een dunne laag vlak boven de bodem, die met de huidige meettechnieken niet valt te detecteren.

Ook voor de Maasmond geldt dat de aanslibbing aldaar niet te verklaren is

aan de hand van sedimentgehaltemetingen. Op grond van de vele waarnemingen lijkt de volgende hypothese voor het transportmechanisme niet onrealistisch.

Geografisch gezien vanuit zee tot stroomopwaarts van het havengebied kunnen de volgende mechanismen de aanslibbing bepalen.

In het brongebied, de Noordzee, kan zich onder invloed van de golfbeweging vlak boven de bodem een sliblaag ontwikkelen met zeer hoge concentraties (dikte tot enige decimeters). De laag kan onder invloed van stromingen door getij en golven langzaam in beweging zijn (centimeters per seconde). Door turbulentieinvloeden kan een deel daarvan ook in suspensie getransporteerd worden.

De over de zeebodem bewegende sliblaag kan bij bereiken van de t.o.v. de omgeving sterk verdiepte scheepvaartgeul in de geul accumuleren en onder invloed van getijstroming en dichtheidsstroming naar de Maasmond worden getransporteerd. Afhankelijk van het slibaanbod en de hydraulische omstandigheden zal dit gebeuren in een dikke of dunne laag, of overwegend in wolken in suspensie.

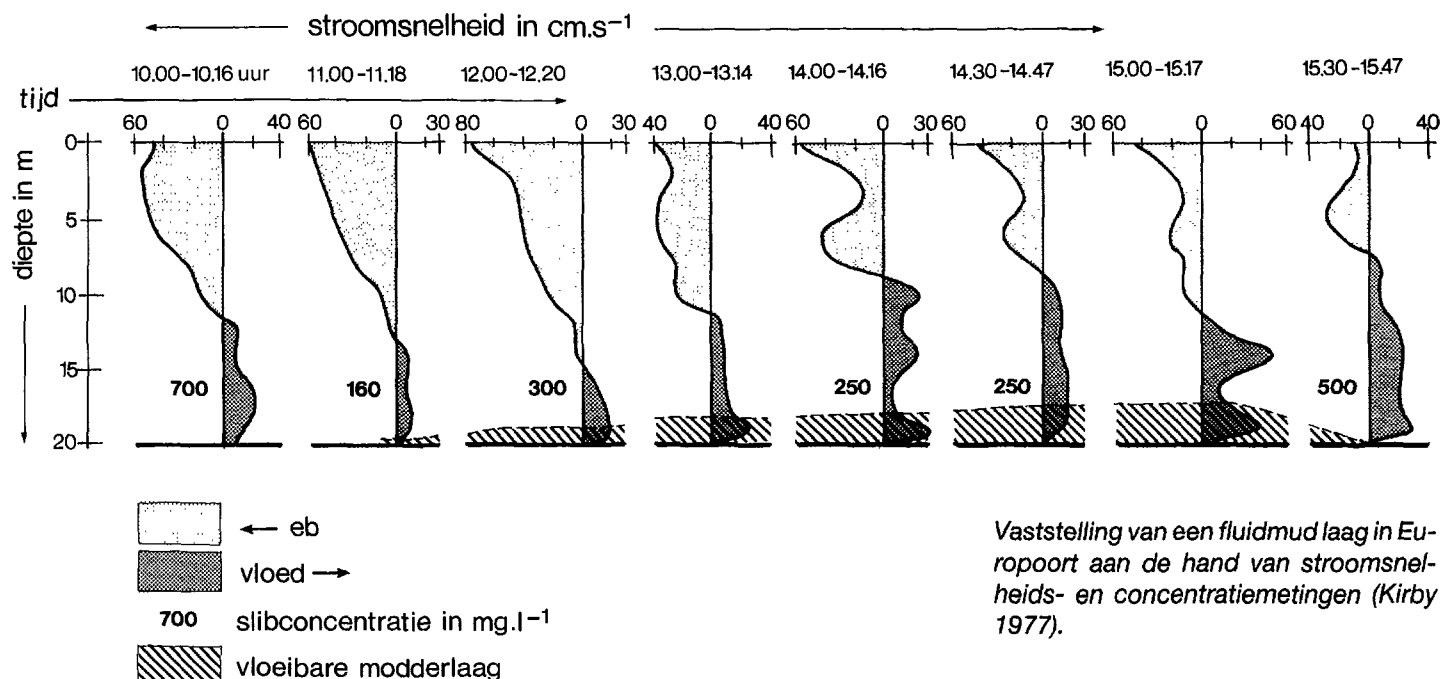
Een groot deel van dat slib zet zich permanent af in het Maasmondgebied. Een relatief gering deel bereikt ten gevolge van komvulling, neerstroming, geringe dichtheidsstroming en turbulente "diffusie" het Calandkanaal en Beerkanaal, overwegend in suspensie. Een relatief groter deel zal door de sterke getij- en met name dichtheidsstroming over het onderste deel van het stroomvoerend profiel stroomopwaarts getranspor-

teerd worden via Nieuwe Waterweg en Scheur.

Tevens zal de haveninwaarts trekkende zoute onderstroom verrijkt worden met rivierslib dat vanuit de bovenstroom daarin bezinkt. Veelal wordt gesproken over een troebelheidsmaximum dat aldus ontstaat in het grensgebied zoutzoet (punt van de zouttong). Met de zoute onderstroom zal een deel van het daarin meegevoerde slib de aangetakte havens (Botlek) intrekken en sedimenteren. Een ander deel zal beurtelings sedimenteren en eroderen op het riviertraject, maar leidt daar nauwelijks tot netto aanslibbing.

De cyclus sedimenteren en eroderen kan afhankelijk van getijverschil, getijfase, rivierafvoer en slibaanbod momenten kennen waarop het slib voornamelijk in wolken wordt getransporteerd, dan wel in een dunne laag, dan wel in een dikkere laag. Uit een continue meting van slibgehalte op 4,00 m boven de bodem op dit riviertraject blijkt in elk getij een duidelijk troebelheidsmaximum te ontstaan in dezelfde fase van het getij. Dit duidt erop dat op dat moment een grote hoeveelheid slib opgewerveld in wolken ter plaatse passeert.

Bovenstreams van de zouttong is de sedimentatie in de aangrenzende havens veel geringer. Het rivierslib wordt haveninwaarts getransporteerd door uitwisseling tussen haven en rivierwater (komberging, neerstroming en eventuele onttrekking van koelwater). In hoeverre transport in een dunne laag direct boven de bodem daarbij een belangrijke rol speelt is niet bekend. Omdat het slibgehalte bij in die havens uitgevoerde metingen over het algemeen vrij con-

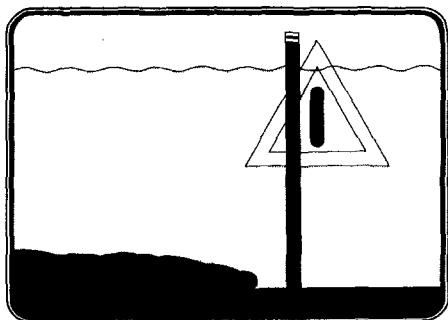


Vaststelling van een fluidmud laag in Europoort aan de hand van stroomsnelheids- en concentratiemetingen (Kirby 1977).

stant en laag is en de mate van sedimentatie niet daaruit valt te verklaren, moet het voorkomen van hoge concentraties in een dunne laag boven de bodem of het voorkomen van (niet geregistreerde) pieken in slibgehalte (afvoergolven, trekken stuwen), dan wel beide, een belangrijke rol spelen bij het aanslibbingsproces.

Slibwolksignalering

Vanuit MKO is een meetsysteem ontwikkeld dat tot doel heeft het eventuele voorkomen van slibwolken met hoge concentraties aan te tonen. Aan de slibconcentratie metingen werden verschil-



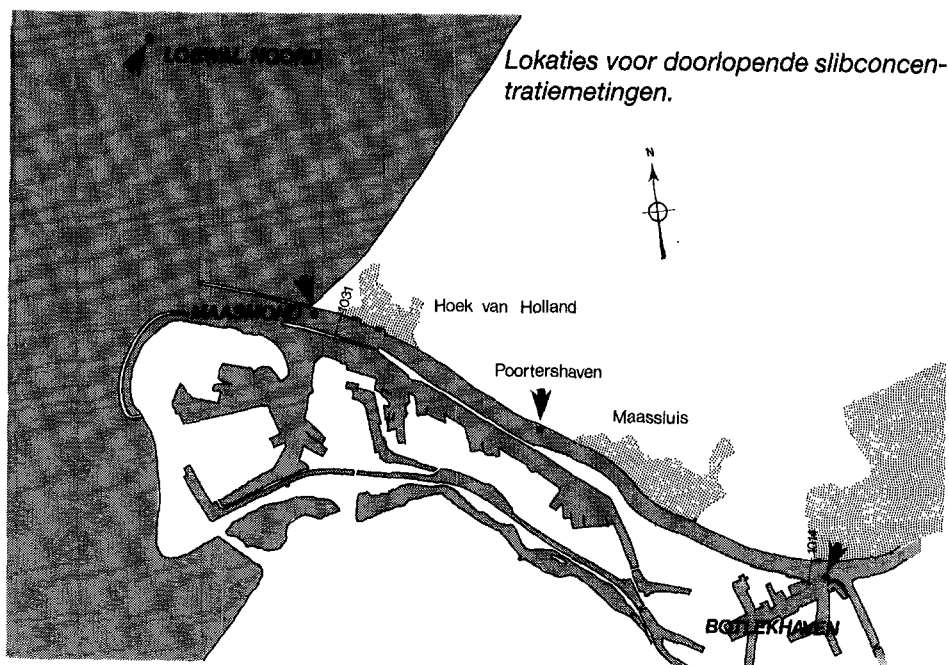
lende voorwaarden gesteld. In de eerste plaats moest de meting onder zoveel mogelijk verschillende omstandigheden plaatsvinden. Dit betekende dat er over een lange periode gemeten moest worden en ook gedurende extreme weersomstandigheden. Ten tweede was overeengekomen dat het voorlopig voldoende was om een algemeen beeld te verkrijgen van het voorkomen van hoge concentraties. Deze metingen zijn als gevolg hiervan beperkt tot een viertal locaties, waarbij de keus mede bepaald werd door scheepvaart en baggerwerkzaamheden.

Om statistisch betrouwbare resultaten te verkrijgen werd bepaald dat gedurende 18 tot 24 maanden moest worden gemeten met een frequentie van één keer per twee minuten.

Een uitgebreide analyse heeft geleid tot de keuze van een optische sensor met een off-line processysteem. De verkregen meetresultaten zijn via filtering en ijking vertaald naar concentraties.

Metingen op vaste dieptes met een onder water optische sensor hebben geleid tot een beter begrip van slibconcentraties in suspensie. Het nadeel van deze meetmethode, zoals de noodzaak voor uitgebreide ijking en filtering moet in beschouwing worden genomen bij de verdere ontwikkeling van dit type meetsystemen.

Voor meting van slibtransport in een laag vlak boven de bodem, werd een meetmethode ontwikkeld waarmee de



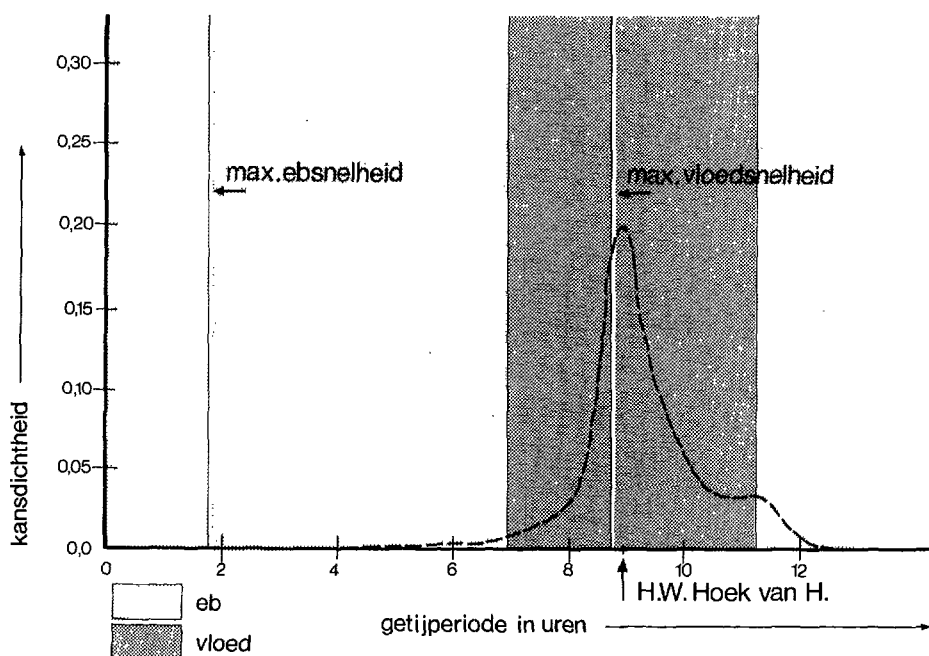
baan geregistreerd kon worden van één of meer slibdrijvers welke meebewegen met de sliblaag. De beweging van de slibdrijvers werd gevolgd met een bestaand akoestisch plaatsbepalingssysteem. Een prototype werd uitgerust met een ballastsysteem en voorzien van reflecterend materiaal. Het gewicht van de ballast werd zo gekozen dat het specifieke gewicht van de bol 1.100 kg/m^3 bedroeg, met de bedoeling dat de bol zich in de bovenlaag van het slib zou bevinden.

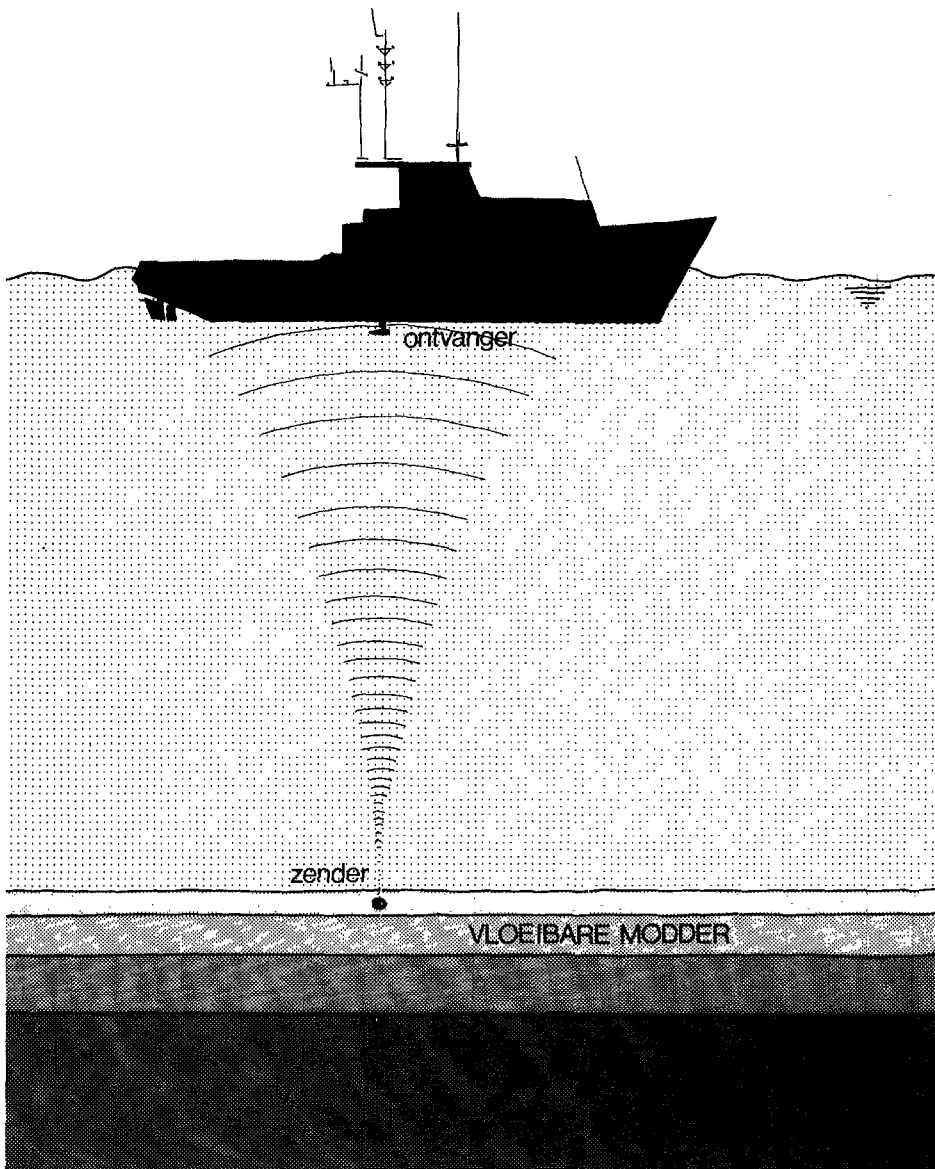
Het resultaat van een eerste test in de monding van de Waterweg gaf aan dat de verplaatsing van de bol redelijk overeenkwam met de berekende baan op

De verdeling van 2026 gemeten maximale slibgehalten per getij; gemeten op de lokatie Poortershaven op 4 meter boven de bodem.

grond van watersnelheden vlak boven de bodem. Gebaseerd op deze initiële proefresultaten werd geconcludeerd dat deze methode veel perspectief biedt voor wat betreft het vergroten van inzicht in slibtransport vlak boven de bodem. Zij het dat het systeem verder ontwikkeld en geoptimaliseerd moet worden. Het ontwikkelde prototype is alleen geschikt voor dikke lagen slib en plaatsbepaling is vooral voor wat betreft de terugwinning van de drijver niet optimaal.

Met vallen en opstaan is in een reeks van jaren een meettechniek ontwikkeld voor continue registratie van slibgehalten op vaste punten in het havengebied en op de Noordzee. De laatste hand aan de verwerking en interpretatie van de meetgegevens moet nog worden gelegd. Maar nu reeds staat vast dat bruikbare informatie wordt verkregen



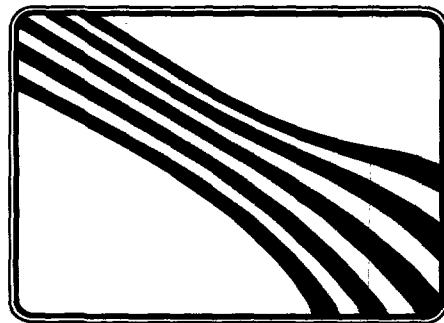


maar ook dat vele nieuwe vragen worden opgeroepen. Bijvoorbeeld de representativiteit van het meetpunt voor de Botlekhaven. Slibwolken zijn in de Botlekhaven niet gemeten. Toch is het niet onwaarschijnlijk dat het slibtransport vlak boven de bodem in de Botlekhaven in overwegende mate bijdraagt aan de aanslibbing, maar dan onder het niveau van het meetinstrument (d.w.z. in een laag van centimeters tot enige decimeters dikte).

In de toekomst zal aandacht besteed moeten worden aan ontwikkeling van meettechnieken waarmee dat bemeaten kan worden. In die ontwikkelingen past uiteraard de toepassing van de slibdrijver. Zoals is beschreven zijn resultaten daarvan zeer hoopgevend, al zal op diverse punten de methode nadere ontwikkeling behoeven.

Sedimentatiepatroon

Er is een inventarisatie uitgevoerd van de beschikbare binnen- en buiten-



landse literatuur, om een zo goed mogelijk overzicht te krijgen van de reeds bestaande kennis betreffende het sedimenttransport in en rond havens. Pasklare modellen die bij toepassing op

voorhand reeds meer inzicht zouden verschaffen in het aanslibbingsmechanisme, bijvoorbeeld de verdeling van het sediment over de haven, werden in de literatuur niet aangetroffen. Derhalve is de ontwikkeling van een hypothese, t.a.v. de water- en sedimentbeweging en daarop gebaseerde modellen, door de werkgroep zelf ter hand genomen. In een eerste fase is daarvoor ontwikkeld en getoetst een modelmatige benadering van de waterbeweging in een havenmond. Waarbij de waterbeweging wordt bepaald als samengestelde van komvullingsdebiet, dichtheidsstroming, neeruitwisseling en wateronttrekkingen c.q. lozingen in de haven. Ondanks dat later bij nader onderzoek naar de neerontwikkeling is gebleken dat het bepalen van de totale waterbeweging door superpositie uit de bovengenoemde mechanismen niet opgaat, blijkt voor drie onderzochte havens dat de berekende totale in- en uitgaande debieten slechts circa 5 % afwijken van de gemeten debieten.

Uitvoerige aandacht is besteed aan de modellering van de ontwikkeling van de neer in een havenmond. Daartoe is een systematisch onderzoek uitgevoerd in een hydraulisch schaalmodel (TU Delft) en zijn enige prototypemetingen uitgevoerd.

Uit dat onderzoek volgt dat de waterbeweging in de mond niet kan worden bepaald door superpositie. De snelheid in de neer hangt af van de stroomsnelheid op de rivier. De verhouding is circa 0,25. Het onderzoek geeft een relatie waarmee het uitwisselingsdebiet, t.g.v. de neervorming, tussen rivier en haven te schatten is. Verder toont het onderzoek aan dat een resulterend transport van sediment naar de kern van de neer optreedt.

Voortzetting van deze eerste fase was in eerste instantie tweeledig. Enerzijds werd getracht een geavanceerd tweelagenmodel te ontwikkelen voor de water- en sedimentbeweging binnen een havenbekken. Anderzijds was in ontwikkeling een eenvoudig, sterk geschematiseerd rekenmodel voor de bepaling van de sedimentatie in een havenbekken.

Na enige voorbereidingen werd de ontwikkeling van een tweelagenmodel stopgezet. Dit was zodanig gecompliceerd en tijdrovend dat het niet binnen de looptijd van het MKO-project afgerond zou kunnen worden. Extra aanleiding was tevens de gestage ontwikkeling van soortgelijke modellen elders (Waterloopkundig Laboratorium) en de verwachting dat deze modellen be-

schikbaar zullen komen in de niet al te verre toekomst.

De ontwikkeling van een eenvoudig en doorzichtig rekenmodel resulteerde in een ééndimensionaal model voor het berekenen van de sedimentatie in een willekeurige maar homogene haven. De waterbeweging wordt in dat model alleen door het getij (komberging) beschreven. Onttrekking of toevoeging van b.v. koelwater is in het model mogelijk. Uiteraard is dit een eerste aanzet in de ontwikkeling. De volgende uitbreidingen van het model zouden overwogen kunnen worden:

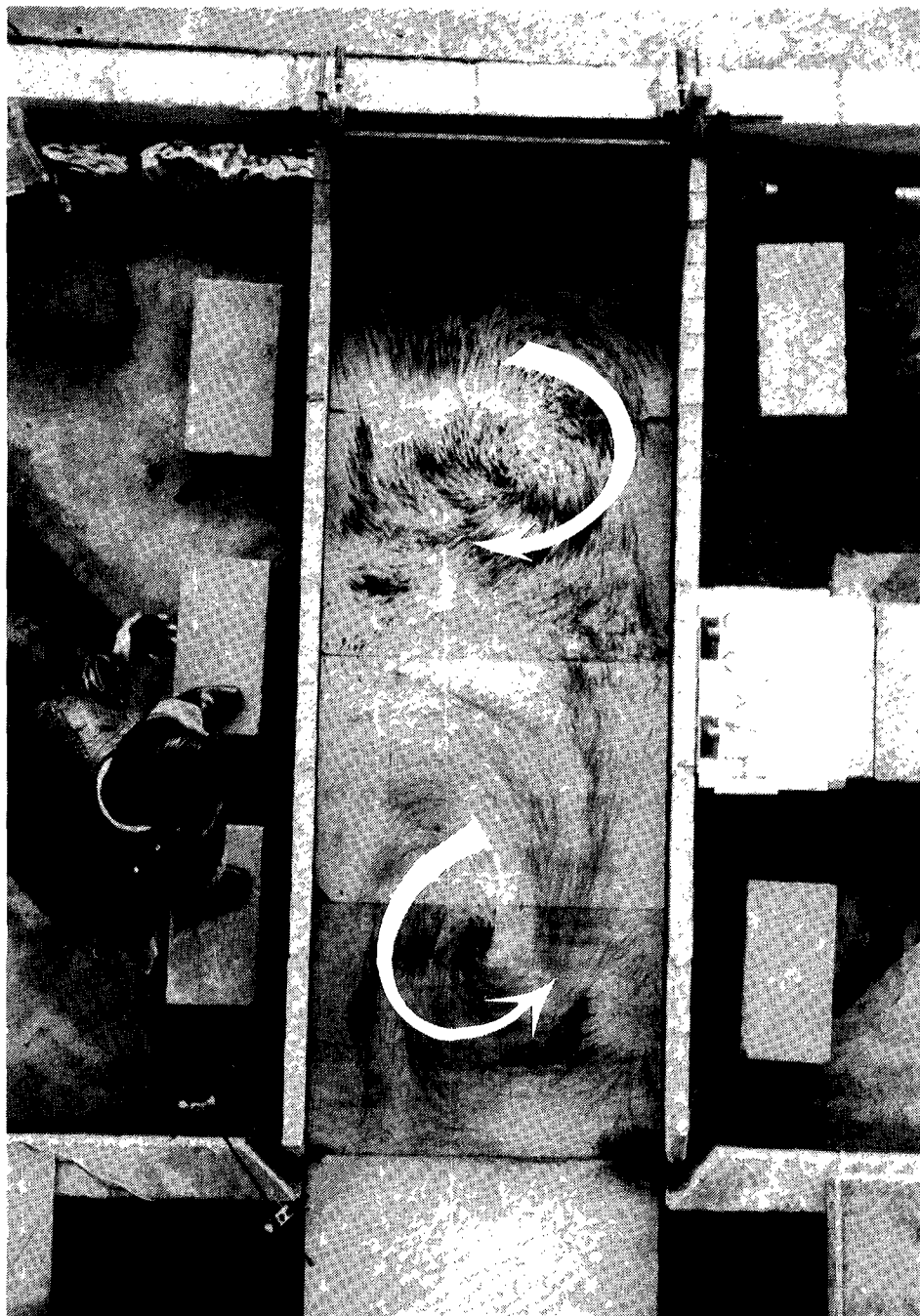
- . invloed neerontwikkeling;
- . invloed dichtheidsstromen;
- . verschillende valsnelheden.

De modellering van de sedimentatie geschiedt aan de hand van de formulering die in het onderdeel slibeigenschappen (sedimentatie) is verwoord. De sedimentatie achterin de haven kan alleen goed worden beschreven, als ook dispersief transport in het model wordt opgenomen. Met deze dispersie wordt ook een deel van de neeruitwisseling in de monding meegenomen.

In elke haven treden doorgaans in meer of mindere mate slingeringen op (seiches e.d.). Het gesommeerde ingaande debiet is bij een slingingering in de orde van enkele centimeters (in Europoort is een decimeter waargenomen) niet meer te verwaarlozen t.o.v. het kombergingsdebiet. Uit het neeronderzoek volgt ook dat door slingeringen het uitwisselingsdebiet toeneemt. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen in welke mate hier rekening mee gehouden moet worden.

Het ontwikkelde ééndimensionale model is getoetst aan de hand van een meting in de Maashaven. Bij deze meting bleek nauwelijks sprake te zijn van een afname van de sedimentconcentratie in de lengterichting van de haven. Dit wijst op zeer fijn materiaal. Bij het vergelijken van de meting en de berekeningsresultaten is gekeken naar de concentraties zwevend materiaal en de sedimentatie in de haven. Een redelijke overeenkomst tussen berekende en gemeten concentraties blijkt alleen op te treden als uitgegaan wordt van de veronderstelling dat een gedeelte van het materiaal zo fijn is dat de valsnelheid daarvan te verwaarlozen is. Voor een goede simulatie is het van belang de korrelgrootteverdeling van het sediment en de bijbehorende valsnelheden te kennen.

De totale sedimentatie in de haven kon niet nauwkeurig genoeg worden bepaald uit de meetresultaten. Op dit punt was dus geen goede vergelijking mogelijk met de modelberekening.



Stromingspatronen in een haven, in de nabijheid van de bodem.

De foto toont de verspreidingspatronen van kleurstof, dat op de bodem van een laboratorium-model ligt.

Uit de foto blijkt dat in een haven met breedte-lengte-verhouding van ongeveer 1:3 twee neerstromingen optreden en dat de neerstroming bij de bodem gericht is naar het centrum.

Hoe nauwkeurig de modeluitkomsten zijn, is nog niet exact te zeggen. Wel kan door vergelijking van resultaten een goede indruk worden verkregen wat de gevolgen van ingrepen zijn.

Voor het berekenen van de sedimentatie in havens met dichtheidsstromingen is minimaal een tweelagenmodel nodig.

2. Slib in Rijn en Maas.
R.I.D./R.I.W.A.
1979

3. Getijgootonderzoek
W.L. M 896-50
1982

LITERATUURLIJST HOOFDSTUK 2

1. Toekomststudie van het Nederlandse Baggerbedrijf K.W.W. Vereniging "Centrale Baggerbedrijf" januari 1987

4. Sediment in het Rotterdams havengebied, Gemeentewerken Rotterdam, Informatiebulletin C.W. Paans
1986

5. Invloed van een slibvang op het sedimentatiepatroon en de baggerkosten in de Botlek,

C.M. Cox

1981

6. Zware-metalenbalans Rijn,

Inventariserende studie,

W.L. R 2266-T 138

1986

7. An investigation of the depositional properties of flocculated fine sediment.

Metha A.J./Partheniades E.

Journal of Hydraulic Research 13

no. 4

1975

8. Een sedimentbalans voor Ioswal Noord

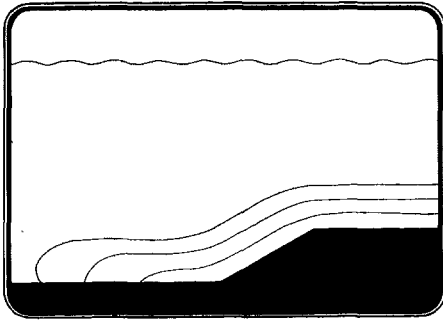
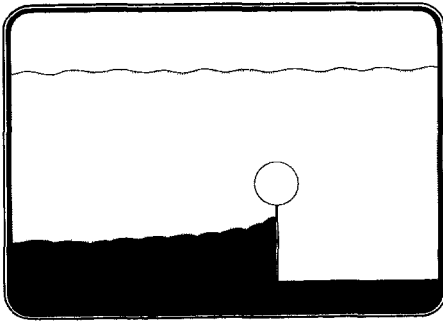
Rapport GWAO 85.001 C.J. Louisse

1985

9. "Definitief Milieu-Effect Rapport Berging Baggerspecie"

Stuurgroep Berging Baggerspecie

1979



3. BEINVLOEDING VAN DE SLIBVERSPREIDING

Maatregelen om sedimentatie in de geulen of havens te verminderen stuiten altijd op onverwachte problemen. Dit vloeit voornamelijk voort uit gebrek aan kennis van slibtransport. Transport vindt plaats in suspensie of als dichtheidsstroom. Echter relaties tussen de krachten als getij, bovenafvoer en golven om het resulterend transport van slib zijn nog nauwelijks voorhanden. Het inzicht in de relaties groeit langzaam.

Het plaatsen van een meetplatform voor de kust kan een vergroting van de kennis opleveren van de hoeveelheid baggerspecie die na het storten op de loswal op de Noordzee weer teruggevoerd wordt naar het waterweggebied om daar voor een tweede keer te bezinken. Aan de hand hiervan kan dan worden bepaald of de huidige stortplaats voor slib op zee (loswal Noord) op de optimale plek ligt. De slibvang Botlek en Bufferpot Maasmond blijken efficiënt t.a.v. de baggerproductie. Proeven met een slibscherm in een havenmond zullen uitwijzen of hiermee resultaten verkregen zullen worden.

Sedimentatie

In het totale benedenrivierengebied vindt sedimentatie plaats. De mate van aanslibbing wordt veroorzaakt door de vorm van het sedimentatiegebied, de bodemdiepte en de invloed van de zoet/zoutverschillen. Op het beheersgebied van Rotterdam betreft het voornamelijk:

Stadshavens:	1 miljoen m ³ ;
Botlet:	3 miljoen m ³ ;
Europoort:	1 miljoen m ³ .

Voor het Waterstaatsgebied gelden de volgende gemiddelde waarden:

Nieuwe Maas :	0,5 miljoen m ³ ;
Scheur :	1 miljoen m ³ ;
Nieuwe Waterweg :	1 miljoen m ³ ;
Maasmond :	10 miljoen m ³ ;
Maasgeul :	2,5 miljoen m ³ .

Afschermen van de bron

Zoals eerder beschreven, voeren de rivieren Rijn en Maas sediment met zich mee. Het zal duidelijk zijn dat afschermen van het sedimentaanbod door de rivieren niet mogelijk is.

Aan de zeezijde lijkt zich dezelfde situatie voor te doen, echter is op de Noordzee slechts zeer lokaal sprake van de aanwezigheid van slib.

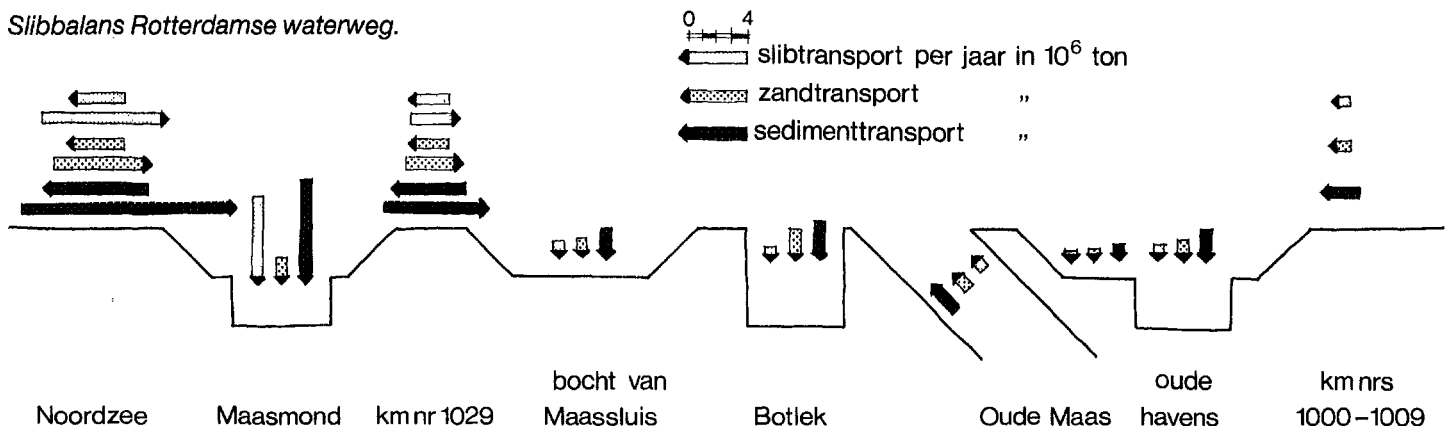
Punten die als vermoedelijke bron van herkomst van slib aangemerkt kunnen worden zijn: de Vlaamse banken, Loswal Noord en de Scheldedelta.

Wanneer bekend zou zijn in hoeverre de Vlaamse banken de bron van het slibprobleem in het Rotterdamse havengebied zijn, kan bepaald worden of het economisch haalbaar is deze Vlaamse banken af te dekken met zand of met ander geschikt materiaal. Aangezien nog niet bij benadering geraamd kan worden hoe groot de bijdrage van dit gebied is, zijn hier nog geen verdere studies naar verricht.

Indien bekend zou zijn in hoeverre de retourstroom van Loswal Noord bijdraagt aan het slibprobleem in het Rotterdamse havengebied, zou getoetst kunnen worden of het verplaatsen van Loswal Noord, of het zoeken naar methoden om de consolidatie van slib daar ter plaatse te versnellen, of het aanbrengen van onderwaterdammen economisch haalbaar is.

Momenteel worden pogingen gedaan om met behulp van een zgn. slibmeetplatform hierover een indruk te verkrijgen. Indien in de toekomst meer bekend is, kan opnieuw bezien worden in hoeverre deze maatregelen een bijdrage kunnen leveren aan de beperking van

Slibbalans Rotterdamse waterweg.



het aanslibbingsprobleem in het Euro-poortgebied.

De bijdrage van de Scheldedelta is nog volledig onbekend en hiernaar zijn in MKO-verband nog geen studies ver-richt.

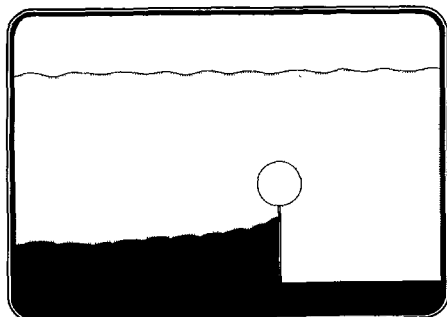
Ingrijpen tijdens transport

De wijze van transport en de omstan-digheden waaronder dit transport plaatsvindt dienen bekend te zijn om maatregelen ter vermindering van het aanslibbingsprobleem te kunnen beoordelen. Het onderzoek kan uitge-splitst worden naar concentratie en af-gelegde weg. Bij het onderzoek naar de concentratie van het slib in suspensie is het belangrijk te weten of transport van slib in de gehele verticaal plaatsvindt of in een dunne laag of eventueel een combinatie van beide.

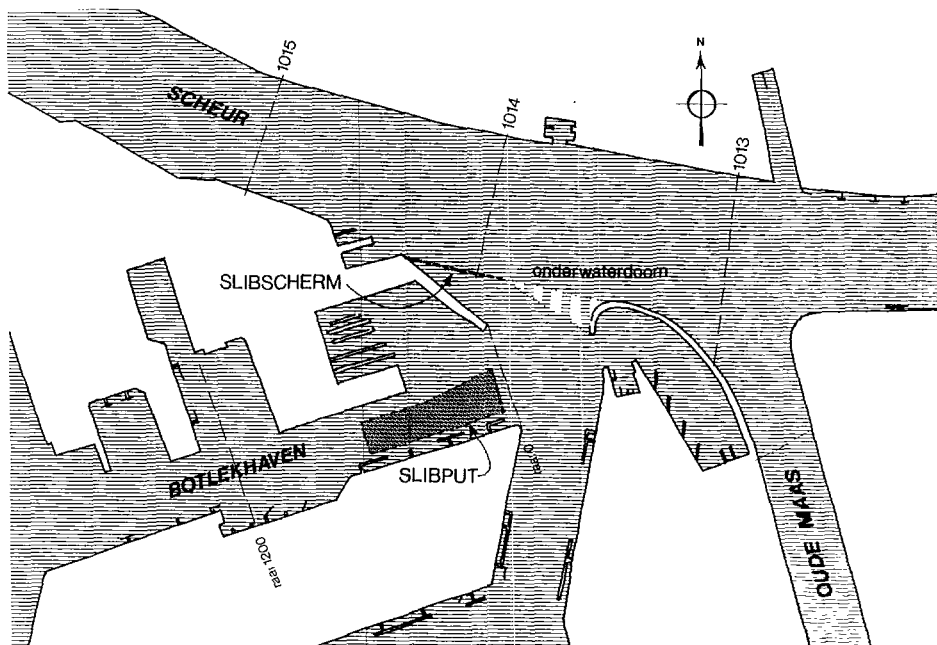
Dit is belangrijk voor de dimensionering van eventuele afschermingsconstruc-ties (dam, scherm). Tevens is het van belang om de omstandigheden te on-derzoeken waaronder transport van slib plaatsvindt. Hierbij gaat het vooral om de tijdsduur waarin het transport plaats-vindt; zoals b.v. gedurende het gehele jaar door of tijdens stromen of hoge ri-vierafvoeren. Hiermee kan dan bepaald worden of een afscherming permanent of tijdelijk (demontabel) aangebracht moet worden. Een voorbeeld van een binnen MKO ontwikkelde afscher-mingsconstructie is het slibschermbin de mond van de Botlekhaven.

Slibschermbin

In principe zijn er drie mogelijkheden om slib buiten de haven te houden: met een waterschermbin, een luchtbellen-schermbin, of een dicht schermbin. Het idee



'water' viel als eerste af toen uit oriënte-rende berekeningen bleek dat er een complete rivier nodig zou zijn om de met ieder getij de haven instromende hoe-veelheid water en slib tegen te houden. Het idee 'luchtbellenschermbin' leek aan-vankelijk meer levensvatbaar, maar uit berekeningen bleek dat er zoveel ener-gie nodig zou zijn om het benodigde



Situatie slibschermbin slibvang.

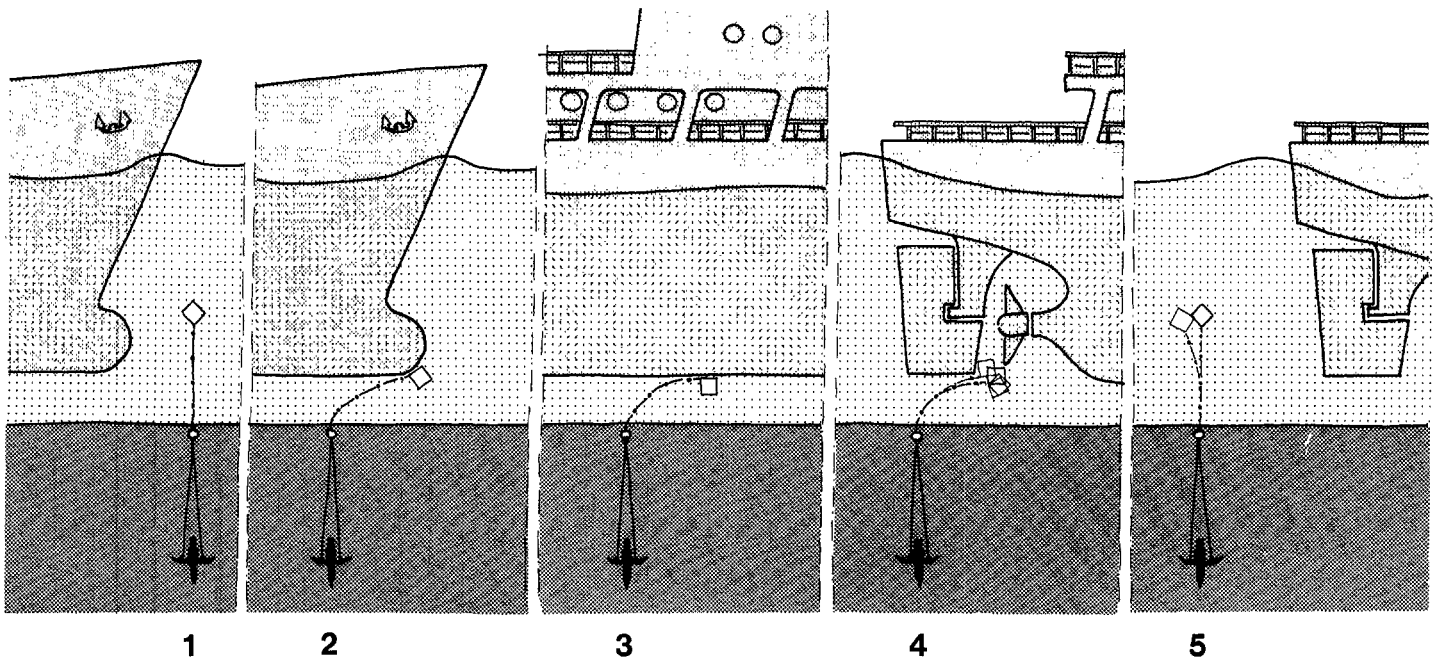
luchtdebiet te leveren, dat het maar wei-nig goedkoper zou worden dan bagge-ren. Bleef over een 'dicht' schermbin, met als één van de belangrijkste eisen dat er geen hinder voor de scheepvaart mocht ontstaan. Tientallen ideeën werden ge-lanceerd, waarvan de meest belovende zijn uitgewerkt en geselecteerd op een aantal criteria: kans van slagen, be-drijfszekerheid, sterkte, reparatiekos-ten en terugverdiëntijd. De meeste aan-dacht ging aanvankelijk uit naar het ont-werp beweegbaar schermbin dat aan een rail op de bodem heen en weer kon glij-den. Omdat de kans bestaat, dat bij een beschadiging door een uitgeworpen anker het schermbin niet meer beweeg-baar is en in de schroef kan kom-men, is dit ontwerp later weer verlaten. Hiermee in verband werd toen geëist dat het schermbin zelf zou moeten bestaan uit stukken die bij eventuele aanraking met een schip niet de schroef beschadi-gen en verder moet de fundering in ge-deeltes worden uitgevoerd opdat door krabbende ankers zo min mogelijk be-schadiging ontstaat. Voor het schermbin resulteerde dit in het "lappendeken"-principe. De nog openstaande vraag omtrent de frequentie van de beschadiging werd beantwoord door een proef in de prak-tijk in de Botlek. Een proefscherm van beperkte lengte werd in de vaargeul ge-plaatst. Tijdens en na plaatsing bleek dat de interactie tussen scheeps-schroef en slibschermbin dermate hevig was, dat het aantal reparaties veel te hoog opliep. Oplossing van deze pro-blematiek bleek ook na onderzoek niet mogelijk en dit ontwerp werd dus even-eens verlaten.

Teruggerepen werd naar het ontwerp beweegbaar schermbin, maar nu beweeg-baar in verticale zin.

Onderzoek wees uit dat dit type be-weegbaar schermbin wel goed is te reali-seren. Om nu een inzicht te verkrijgen in zowel de frequentie van beschadigin-gen door extreme omstandigheden als de rendementsverwachting is in eerste instantie besloten om een zeer laag vast schermbin aan te leggen over de gehele breedte van ± 450 m. De schermbin-hoogte van twee meter is zo gekozen dat zij zich in het kielspelingsprofiel van het diepst stekende schip bevindt. De verwachting is dat met dit type schermbin ± 10 à 15 % slib tegengehouden kan worden.

Het lage vaste schermbin wordt aangelegd in secties van 16 m en bestaat uit drij-vers, schermdoek en een fundering van zandworsten.

De drijvers bestaan uit een polyethy-leen-omhulling gevuld met geëxtru-deerd schuim. Het opdrijvend vermo-gen van deze drijvers is bepalend voor de stand van het schermbin tijdens de ge-tijdewerking, het is dus zeer belangrijk dat onder water op NAP -13,00 m het opdrijvend vermogen behouden blijft. Uit schuimonderzoeken is een schuim-type geselecteerd dat hieraan voldoet. De p.e.-omhulling is bedoeld om het schuim bij een eventuele aanraking van een schip hiertegen te beschermen. Het schermdoek is van slibdicht polyes-terweefsel en ook voldoende sterk om uitwendige krachten zoals de op-waartse kracht en die ten gevolge van schroefstralen te kunnen weerstaan. De fundering is gemaakt met hetzelfde



Interactie schepsschroef slibscherm.

weefsel als het schermdoek en bestaat uit twee met zand gevulde zakken van zestien meter lengte.

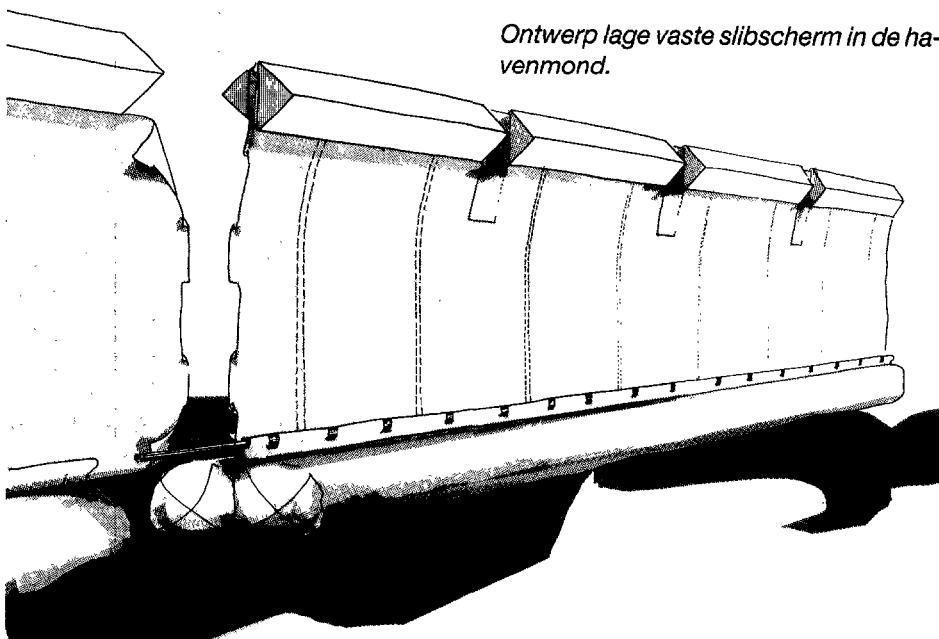
In deze zakken is voor de zanddichtheid nog een polypropweefsel meegenaaid. Het plaatsen van de secties van zestien meter lengte geschiedt met een afzinkponton, waarbij als evenaar een zelfflotterende zinkbalk wordt gebruikt.

Dit vaste lage scherm wordt medio 1987 aangelegd. Afhankelijk van de ervaring die met dit scherm wordt opgedaan zal besloten worden of een scherm zal worden aangelegd in de mond van de Botlek en/of een slibscherm ook voor andere havens interessant kan zijn.

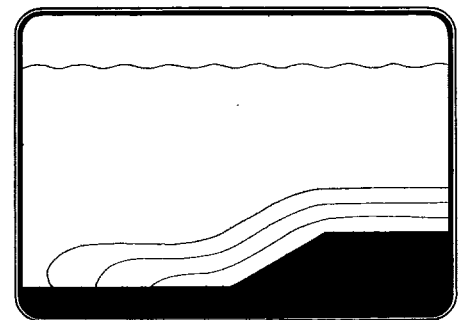


Het plaatsen van het proefslibscherm.

Ontwerp lage vaste slibscherm in de havenmond.



Concentreren van sedimentatie



Teneinde slib te laten sedimenteren kan gedacht worden aan verschillende maatregelen zoals het vertragen van de stroom door een verbreding of verdieping van het stroomprofiel.

Een verbreding is veelal niet mogelijk door planologische of infrastructurele

randvoorwaarden, daarnaast heeft een verdieping van het stroomprofiel het voordeel dat de baggeractiviteiten geconcentreerd worden. In vele gevallen zal daarom van dit z.g. slibvangprincipe gebruik gemaakt worden.

Bufferput Maasmond

In de Maasmond en de definitieve toegang tot Europoort/Maasvlakte is een bufferput gecreëerd. Deze bufferput is in twee fasen gerealiseerd. De eerste fase is gebaggerd in het samenvloeiingsgebied van Calandkanaal Beerkanaal, bij de realisatie van de definitieve toegang in de vorm van een overdiepte van 2 meter. De tweede fase, een verruiming zowel naar de west- als naar de oostzijde van de put, werd voltooid in oktober 1976. De inhoud van de bufferput bedraagt in totaal ca. 3.000.000 m³. Bij elke gerealiseerde vaargeulverdieping is de bufferput eveneens verdiept (zodat de 2 meter overdiepte in stand blijft).

Op basis van een 10-jarige waarnemingsperiode kan worden geconcludeerd, dat met de aanwezigheid van de bufferput spontane aanslibbingen (vanuit zee) kunnen worden opgevangen, en er onder meer optimale baggercondities (dikke sliblagen), kan worden gebaggerd.

Ook wordt een meer gespreide verdeling van de baggercapaciteit over het jaar verkregen. Verder wordt bereikt dat de aanslibbing gelokaliseerd optreedt, zodat in het achterliggend gebied de aanslibbing beperkt blijft, hetgeen leidt tot kleinere vaarafstanden naar de losplaats.

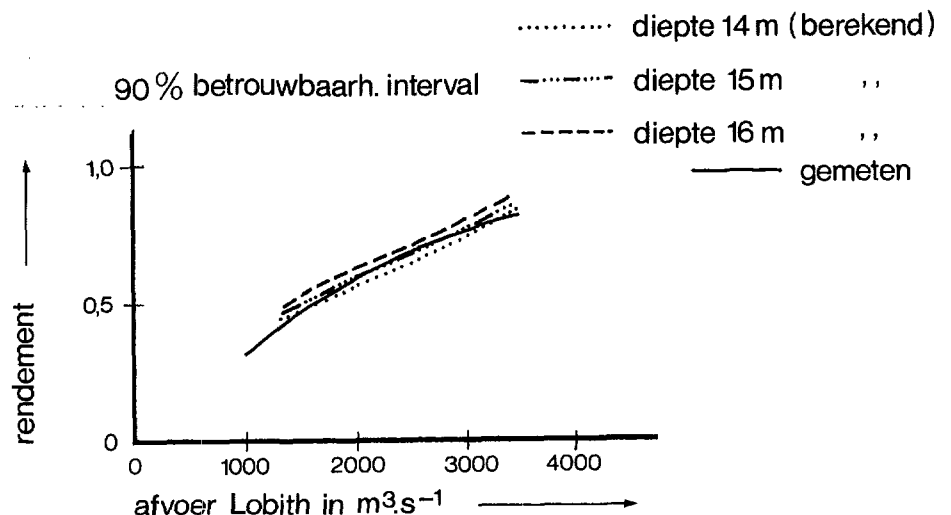
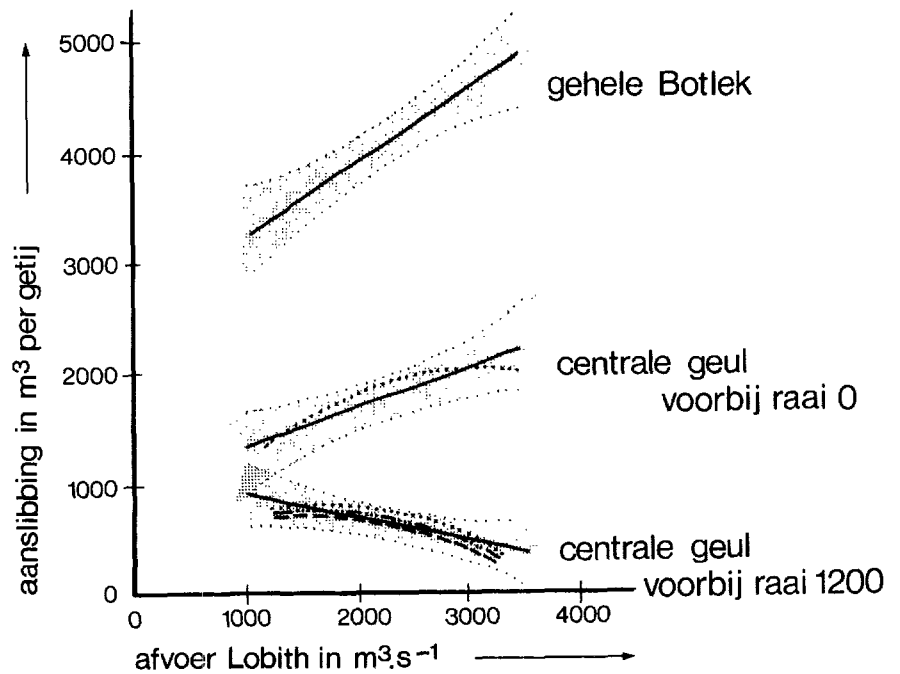
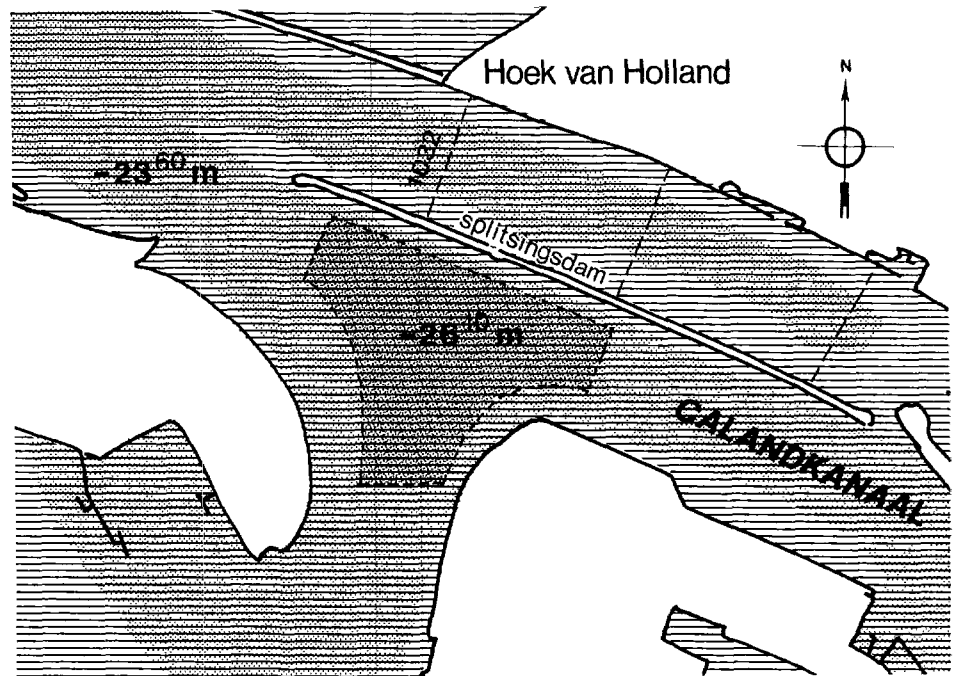
Met het oog op het voorkomen van verhoogde baggerinspanningen direct na stormen, wordt ernaar gestreefd de bufferput aan het begin van het winterseizoen leeg te hebben.

Slibvang Botlek

Ook in de Centrale Geul van de Botlek is een slibput aangelegd. Verdieping van de put zou theoretisch tot een vergro-

De invloed van een slibvang op het aanslibbingspatroon.

Om de invloed te bepalen werd een rekenmodel ontwikkeld en getoetst aan metingen. Bij variatie van de bodemdiepte van de Centrale Geul in het rekenmodel blijkt de berekende aanslibbing binnen het spreidingsgebied van de metingen te liggen. Het effect van de slibput op het onderhoudsbaggerwerk is theoretisch wel aanwezig maar praktisch niet meetbaar. Van meer belang is de produktieverhoging van het werktuig in de slibvang.

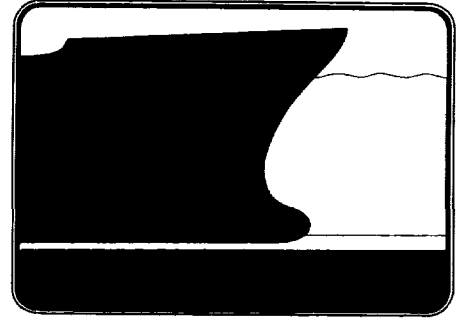
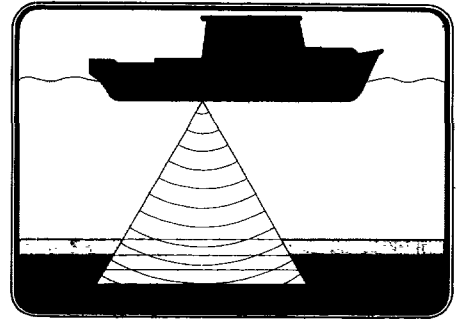


ting van de sedimentatie moeten leiden, echter uitkomsten van berekeningen leren dat verdieping van de put nauwelijks effect heeft.

Ten behoeve van Slufterplan en het MKO-onderzoek Baggerparameters is onderzoek verricht naar het consolidatiegedrag van slib. Uit het onderzoek blijkt dat bij een slibpakket, dat uit dichtere lagen is opgebouwd, de dichtheidsgradiënt in de bovenste centimeters groot is. De in de bovenste laag gevormde evenwichtsdichtheid neemt verder naar beneden echter weinig toe, waarbij de bereikte dichtheid voornamelijk bepaald wordt door de deeltjes-groottesamenstelling.

De dichtheid van de onderhoudsspecie zal dus nauwelijks toenemen als een slibput wordt verdiept.

Uit een vergelijking van dichtheden van slib ter plaatse van de Centrale Geul van de Botlek met monsters uit de persleiding naar de Overbruggingslocatie blijkt dat de gezogen specie slechts met 9 % water is verdund tijdens het zuig- en persproces. Dit is alleen mogelijk als de sleepkop zich voldoende diep in het slib bevindt. Dit betekent dat een grote sli-blaagdikte in de put leidt tot produktieverhoging van sleephopperzuigers.



4. SURVEY

Indien de bodem bestaat uit slib kunnen er problemen ontstaan indien men b.v. de geuldiepte wil definiëren. De dichtheid van het slib op de bodem van de vaarweg neemt over het algemeen naar beneden toe. Het normale echolood (210 kHz) geeft de bodemdiepte weer tot ongeveer een dichtheid van 1.025 kg/m^3 . Dit is de bovenkant van de sliblaag. Het MKO-onderzoek heeft aangetoond dat indien als definitie van de bodem een dichtheid van 1.200 kg/m^3 wordt aangenomen de scheepvaart daar geen hinder van ondervindt. Het hanteren van de 1.200 kg/m^3 diepte gebeurt nu aan de hand van metingen met een radioactieve sonde. MKO heeft ervoor gezorgd dat een prototype van een Non-Linear Echolood operationeel is. Het NLE meet de 1.200 kg/m^3 dichtheid al varend (net zo als een gewoon echolood) hetgeen de informatiedichtheid van deze kaart sterk verhoogt.

Inleiding

De controle op aanwezigheid van de diepte gebeurt door Rijkswaterstaat en de gemeente Rotterdam met een geautomatiseerd lodingsysteem. Dit automatische lodingsysteem bestaat uit een digitaal echolood, een computer en een plaatsbepalingssysteem. De boordmodule van het plaatsbepalingssysteem (Motorola MRS III) heeft tot taak positie-informatie te betrekken uit een keten van walbakens, welke qua bereik het beheersgebied dekken. Deze positie-informatie wordt gekoppeld aan gemeten dieptes, waarna tevens vaaraanwijzingen voor de schipper worden berekend.

De primaire vorm waarin lodingdata worden gepresenteerd is de dieptecijferkaart. Voor de begeleiding van het baggerwerk zijn speciale presentatievormen van lodingdata ontwikkeld op basis van gebiedsschematisatie met behulp van een vierkanten net in de vorm van matrices. Hiertoe worden de lodingdata gereduceerd tot één dieptegegeven per matrixeenheid. De ligging van de matrixeenheid is gerelateerd aan het landelijk coördinatensysteem terwijl de afmeting van de vierkanten instelbaar is.

Door de matrixinformatie in symbolen te vertalen, ontstaat de zogenaamde symbolen- of vlekkenkaart. De symbolen visualiseren de voor baggerwerk van belang zijnde diepte-informatie. Deze informatie is tevens beschikbaar in digitale vorm op tape, zodat deze informatie ook gebruikt kan worden in het geau-

tomatiseerde baggersysteem.

Een andere gedaante van de matrixkaart is de zuighoeveelhedenkaart. Hierop zijn de matrixdata vertaald in te zuigen of te storten hoeveelheden. Een presentatievorm eveneens ontwikkeld ten behoeve van de begeleiding van baggerwerk. Op grond van deze kaart wordt de beslissing genomen wél of niet te baggeren.

Peilen van de diepte

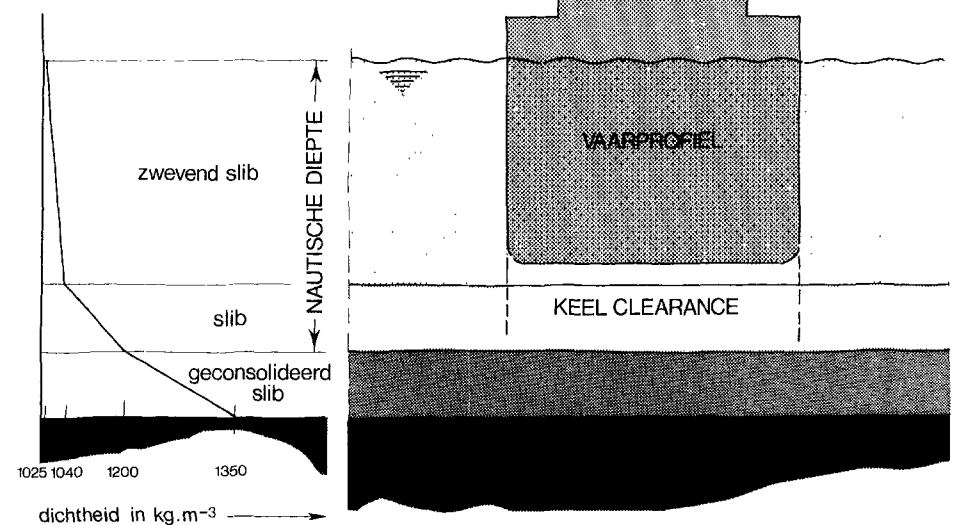
De te garanderen geuldiepte ten opzichte van het referentieniveau omvat naast de diepgang van het schip de vrije ruimte tussen de onderkant van het schip en de geulbodem. Deze vrije ruimte wordt kielspeling genoemd. Afhankelijk van de regio bedraagt de kielspeling 5-10 % van de diepgang. Ingeval van een zandbodem kan met behulp van echoloodapparatuur de beschikbare waterdiepte nauwkeurig worden bepaald. In een slibrijk gebied als b.v. Europoort is het echter niet zo ge-

makkelijk te zeggen, waar precies de geulbodem ligt. De onderste waterlagen worden geleidelijk "zwarter", dat wil zeggen dat ze meer en meer zwevend slib bevatten, en pas 3 à 4 meter daaronder weer met een geleidelijke overgang wordt geconsolideerd slib aangetroffen. Peilingen met het echolood bieden onder deze omstandigheden weinig houvast. Welke diepten gemeten worden, hangt voornamelijk af van de gebruikte frequentie. De meest gebruikelijke frequenties blijken de bovenkant van het zwevende slib aan te zien voor de geulbodem. Dat is zonder meer een veilige grens, maar in feite te ruim, en dwingt zodoende tot te grote hoeveelheden

baggerwerk, als dat zo heten mag, want in feite komt er "zwart water" naar boven en geen bagger. Wat het echolood als geulbodem aangeeft, blijkt trouwens voor de scheepvaart niet maatgevend. Binnen zekere grenzen is het voor schepen zeer wel mogelijk door niet-geconsolideerd slib heen te varen, zonder dat de veiligheid of de bestuurbaarheid daardoor merkbaar verminderen.

Om bevaarbaarheid van zwevend slib vast te stellen is modelonderzoek verricht in het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation in Wageningen, ondersteund door enkele vaarproeven met een diepstekende tanker in de havenmond en het Europoortgebied. Op grond van het modelonderzoek en de proefneming is de "nautische bodem" vastgesteld. Dit is de maximum diepte ten opzichte van het vlak die voor navigatiedoeleinden veilig als bodem is te accepteren. Uit praktische overwegingen is voor de bodemdefinitie de soortelijke massa van het bodemmateriaal

In Nederland wordt de nautische bodem gedefinieerd als het nivo van de 1.2-dichtheid.



makkelijk te zeggen, waar precies de geulbodem ligt.

De onderste waterlagen worden geleidelijk "zwarter", dat wil zeggen dat ze meer en meer zwevend slib bevatten, en pas 3 à 4 meter daaronder weer met een geleidelijke overgang wordt geconsolideerd slib aangetroffen.

Peilingen met het echolood bieden onder deze omstandigheden weinig houvast. Welke diepten gemeten worden, hangt voornamelijk af van de gebruikte frequentie. De meest gebruikelijke frequenties blijken de bovenkant van het zwevende slib aan te zien voor de geulbodem. Dat is zonder meer een veilige grens, maar in feite te ruim, en dwingt zodoende tot te grote hoeveelheden

gekozen. Voor het Europoortgebied geldt een soortelijke massa van 1.200 kg/m^3 . In vaarwegen met een zandbodem zal de door het echolood geregistreerde diepte overeenkomen met de nautische bodem. In slibrijke gebieden zal de nautische bodem zich echter tussen de echolooddiepte en de vaste bodem bevinden.

Een belangrijke consequentie van het hanteren van de nautische bodem was dat de aan nautici en civieltechnici verstrekte diepte-informatie aangaande de vaargeul niet meer alleen de echoloodregistratie diende te geven, maar ook en vooral de ligging van de sliblaag met een soortgelijke massa van 1.200 kg/m^3 . Er is evenwel geen echolood

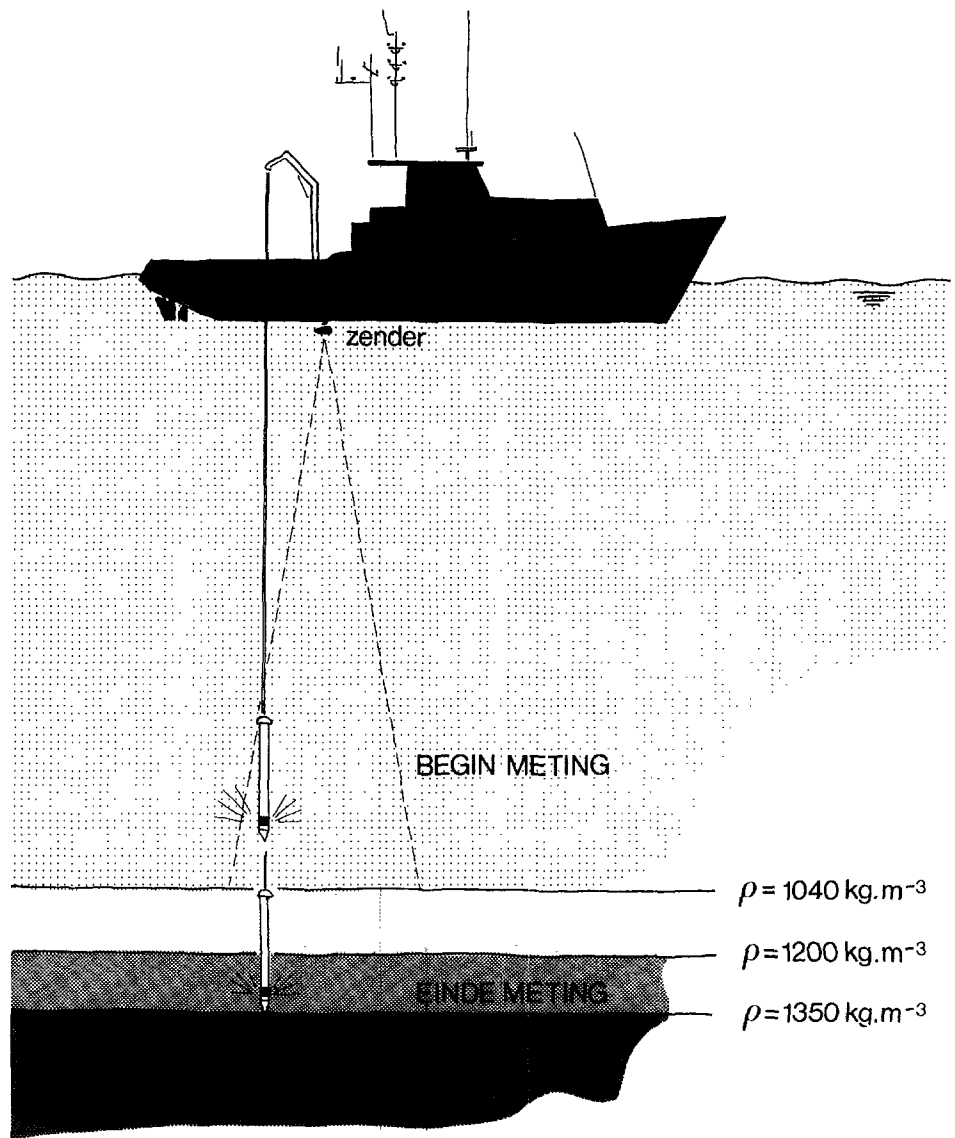
waarmee een specifieke soortgelijke massa kan worden aangemeten. De praktische overwegingen voor de keuze van soortgelijke massa als bodemdefinitie kwam dan ook voort uit de beschikbaarheid van radioactieve sondes, waarmee de dichtheid in situ gemeten kan worden.

Radioactieve sondes

Met radioactieve sondes vindt de registratie van het volumegewicht direct aan boord van het meetvaartuig plaats. Er worden dus geen monsters verzameld voor analyse in het laboratorium. Ondanks de verschillende uitvoeringsvormen zijn de radioactieve sondes gebaseerd op één van de twee werkingsprincipes: de directe doorstralings- of transmissiemethode en de terugstrooi- of backscattermethode.

De sonde die bij de transmissiemethode wordt gebruikt is een H-vormig instrument met de radioactieve bron in de ene poot en de detector in de andere. De bron straalt direct naar de detector. De afstand tussen bron en detector is vast. De terugstrooimethode maakt daarentegen geen gebruik van directe straling van bron naar detector. De directe straling wordt zelfs onderdrukt door middel van een afscherming. De aldus voor de bron afgeschermd detector ontvangt slechts een deel van de door het medium in alle richtingen verstrooide bronstraling. De praktische reden hiervoor is dat het nu mogelijk is bron en detector in één buis onder te brengen. Dit roept bij penetratie in grond veel minder problemen op dan bij de transmissiesonde. Evenals bij de transmissiesonde is ook bij de back-

Meetschip met backscatter sonde.

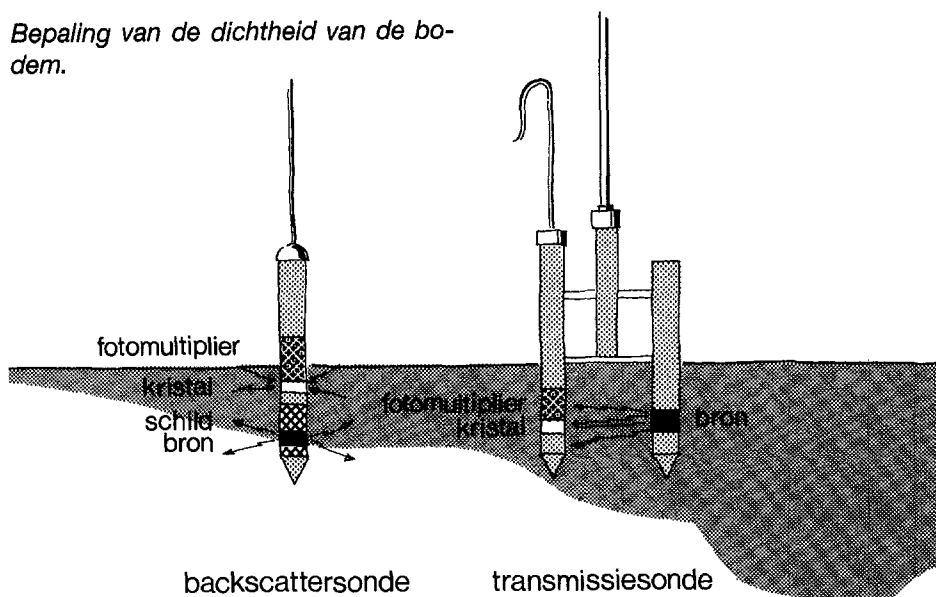


cattersonde de afstand tussen bron en detector vast.

Het verband tussen de gemeten stralingsintensiteit en volumegewicht wordt bepaald tijdens de ijking van de sonde in het laboratorium in een aantal vaten met kunstmatig slib in verschillende volumegewichten. Dit slib is homogeen van samenstelling en heeft dezelfde eigenschappen als het in situ-slib. Van ieder vat wordt het aantal counts en het gewicht van een volume-eenheid slib bepaald. De aldus verkregen ijkgrafiek wordt periodiek gecontroleerd. De zuiverheid van dit beeld kan echter worden verstoord door verontreiniging van het slib met zware metalen, organische stoffen of gas. Boven bepaalde concentraties dient hiervoor dan ook een correctie te worden toegepast op de gevonden meetwaarden.

Bij operationeel gebruik wordt de sonde vanaf een drijvend vaartuig afgevoerd in het slib. Sensoren zijn aanwezig waardoor tijdens de penetratie in het slib de volgende grootheden beschikbaar komen:

Bepaling van de dichtheid van de bodem.



- aantal counts (spanningspulsen);
- diepte en hellingshoek van de sonde;
- afviersnelheid sonde.

Volumegewicht en hellingshoek kunnen met de diepte grafisch worden weergegeven op een XYY-recorder.

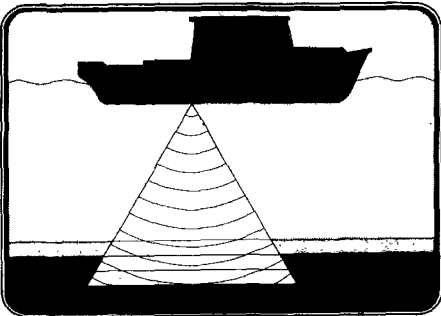
Aanvankelijk werd de informatie over laagopbouw van slib als extra informatie op de dieptecijferkaarten vermeld. Later werden nautische kaarten vervaardigd met de volgende regels:

- indien diepte echolood groter is dan de streefdiepte, dan echolooddiepte karteren;
- indien diepte echolood kleiner is dan de streefdiepte, dan dichtheidsmetingen uitvoeren.

De regels voor het karteren van deze dichtheidsmetingen zijn:

- indien de 1.2-diepte groter is dan de streefdiepte, dan de streefdiepte karteren;
- indien de 1.2-diepte kleiner is dan de streefdiepte, dan de 1.2-diepte karteren.

Akoestische detectie soortelijke massa

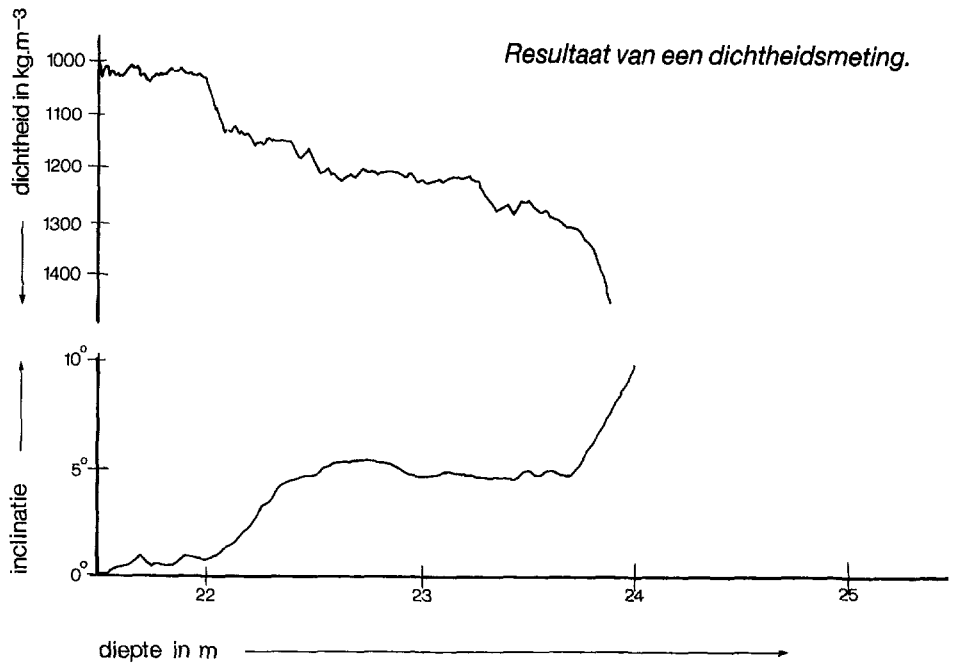


Hoewel volledig operationeel hebben de sondes een aantal bezwaren waarvan de voornaamste zijn:

- beperkingen in penetratiehoek en -snelheid;
- productie beperkt tot 60 à 70 meetpunten per dag;
- data beperkt bruikbaar in een geautomatiseerd baggerproces;
- puntmetingen; vergelijkbaar met het handlood.

De puntmetingen zijn er de oorzaak van dat de informatie over bodemlagen tussen twee opeenvolgende posities ontbreekt.

Om toch gegevens te verkrijgen wordt tussen de ± 200 m uit elkaar liggende posities een lineair verloop verondersteld. Een uit nauwkeurigheidsoverwegingen niet gewenste methode. Deze bezwaren deden de behoefte aan een vervangend meetsysteem, een slibecholood, groter worden. Het slibecho-



lood dient continu informatie te geven over gelaagdheden in slib.

Een akoestisch systeem alleen is echter niet in staat de soortgelijke massa van bodemlagen te bepalen. Om gekalibreerde profielen van bodemlagen te verkrijgen moet akoestische informatie gecombineerd worden met gemeten dichtheidsopbouw. Een combinatie dus van een echolood met een radioactieve dichtheidsmeter. Een dergelijk nucleair-akoestisch meetsysteem is thans gerealiseerd.

De ontwikkeling en bouw van dit systeem is gestart na afloop van een feasibility studie uitgevoerd door de Technisch Fysische Dienst en TU Delft. De resultaten van de feasibility studie waren uitgangspunt voor de ontwikkeling van het "slibecholood".

Het slibecholood is een compositie van systemen geworden met als hart een non-lineair echolood (NLE).

Het non-lineaire echolood is een primaire ontwikkeling geweest van de Universiteit van Birmingham, U.K.



Meetapparatuur aan boord van een meetship.

Na succesvol verlopen tests met prototypesystemen in 1977 en 1978, werd het akoestische systeem verder ontwikkeld en gebouwd door Ulvertech Ltd. (Ulverston, Cumbria, U.K.).

In april 1981 werd een non-lineair echolood geïnstalleerd aan boord van een 50-voets meetvaartuig. Ingevolge de nauwe openingshoek van de transducer is deze bevestigd aan een gyro-gestabiliseerd platform om de invloed van scheepsbewegingen op te heffen. De opvallendste specificatie van het NLE is de primaire frequentie van 200 kHz terwijl de gemoduleerde werkfrequentie 5, 10, 15 of 20 kHz bedragen.

Het 200 kHz signaal wordt gebruikt voor het aanmeten van bovenkant slib. De lage frequenties dienen om de gelaagdheden in de bodem te detecteren. De redenen voor het gebruik van het NLE zijn:

- . het NLE voor lage frequenties een nauwe bundel zonder storende zijlobben. Deze nauwe bundel wordt gegenereerd met een 10- tot 40-maal kleinere transducent dan bij een conventionele laagfrequente subbottom nodig zou zijn;

- . met het NLE wordt het gehele frequentiegebied van 2,5 tot 22,5 kHz bestreken. Afhankelijk van de meetomstandigheden en de gewenste indringing in de bodem kan een geschikte frequentie worden ingesteld;

- . bij de lage frequenties worden korte

signalen uitgezonden, waardoor ook de fijne gelaagdheden in de bodem kunnen worden gezien;

- . het 200 kHz (hoogfrequente) deel van het NLE is volledig gelijk aan de bekende standaardecholoden. De bovenkant van de sliblaag wordt hiermee nauwkeurig aangemeten.

In aansluiting op het operationaliseren van de sondes is een oriënterend onderzoek verricht naar de natuurlijke radioactiviteit van slib om een eventuele correctie op de Y-meting vast te stellen. Hieruit bleek dat de in het meetvenster van de dichtheidssonde vallende achtergrondstraling uit het slib geen significant effect heeft op de dichtheidsmeting.

Het NLE is gekoppeld aan de computer van het automatisch lodingsysteem. Hierin wordt de 200 kHz echolooddiepte geregistreerd naast positie, tijd en heave. De laagfrequentontvanger van het non-lineair echolood is gekoppeld met een computer genaamd Boordsysteem Akoestisch Slibdetectie (BAS). In het BAS-systeem wordt de subbottom informatie voorbereid tot akoestische impedantieprofielen. De akoestische impedantiecurve geeft een relatieve opbouw van de sliblagen. Kalibratie van deze curve met een gemeten profiel in dezelfde positie resulteert in correctiefactoren.

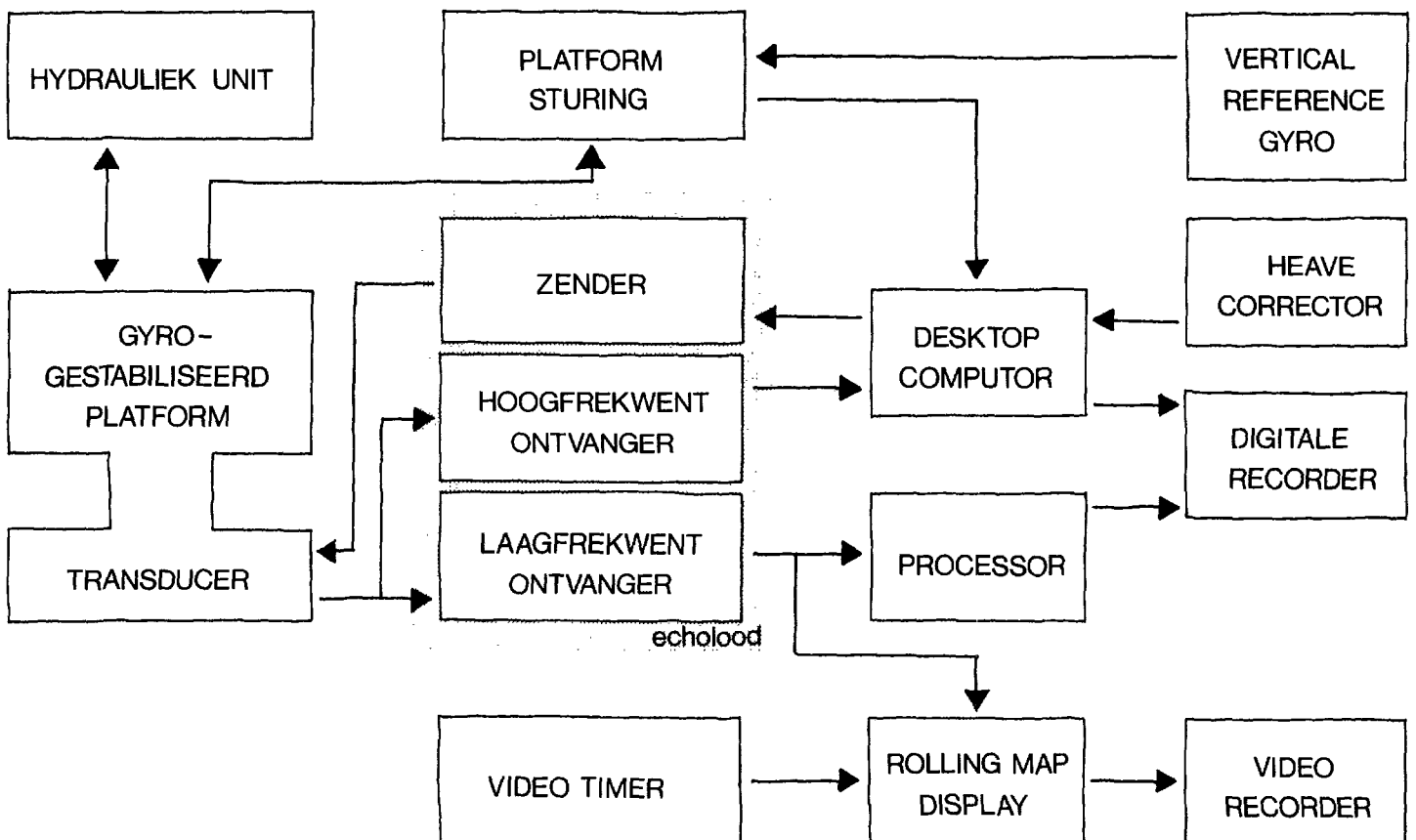
In de walcomputer worden met behulp van de correctiefactoren gemeten

akoestische profielen gecorrigeerd. Hieruit wordt de diepteliging van specifieke sliblagen in de lodingsraaien bepaald. Deze diepteliging is relatief ten opzicht van bovenkant slib. Door koppeling met de, voor waterstand en heave gecorrigeerde, 200 kHz-echolooddiepte wordt de diepteliging van de specifieke sliblagen absoluut. De gebruikelijke presentatievormen voor lodingsdata als dieptecijferkaart en symbolenkaart zijn ook toepasbaar voor meetgegevens afkomstig van het "slibecholood".

Met het operationeel worden van dit systeem is het nu mogelijk de nautische bodem in kaart te brengen met een informatiedichtheid die gelijk is aan die waarmee voorheen de bovenkant slib werd gekarteerd.

Van groot belang bij de detectie van de nautische bodem is de kalibratie van akoestische data. In dit kader is tijdens de ontwikkeling van het detectiesysteem additioneel onderzoek verricht naar:

Schematische voorstelling van het slibdetectiesysteem. Het soortelijk gewicht van deze bol kan worden aangepast aan het te onderzoeken slib. Tijdens de meting kan op de meetboot de plaats van de bol en zo de transportsnelheid en richting van het slibtransport worden vastgesteld.



- . voortplantingssnelheid van geluid in slib;
- . gasgehalte in slib.

Voortplantingssnelheid van geluid in slib

De bepaling van de kalibratie van het akoestisch systeem gebeurt door vergelijking van akoestische curves met puntmetingen uitgevoerd met een nucleaire dichtheidsmeter. Bij de kalibratie wordt met betrekking tot de geluidssnelheid en absorptie verondersteld dat deze constant zijn. Is dit niet het geval dan zal parallel met de dichtheids-puntmeting een geluidssnelheids/absorptiemeting moeten worden uitgevoerd.

In het onderzoek zijn een aantal metingen in situ uitgevoerd ter bepaling van voorkomende geluidssnelheden en absorpties in slib.

De proeven hadden tevens als doel de randvoorwaarden voor een geluidssnelheids/absorptiemeter voor operationele omstandigheden vast te stellen.

Onderzoekresultaten geven aan dat geluidssnelheidsvariaties 10 à 20 m/s bedragen bij binnenkomen in het slib (d.w.z. ca. 2 % fout in de laagdiktemeting = 10 cm na 5 m). Op grond hiervan besloot men om een operationeel bruikbaar instrument niet te ontwikkelen.

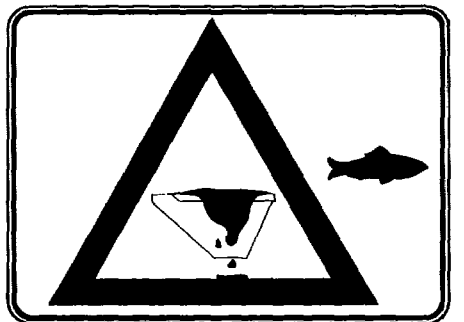
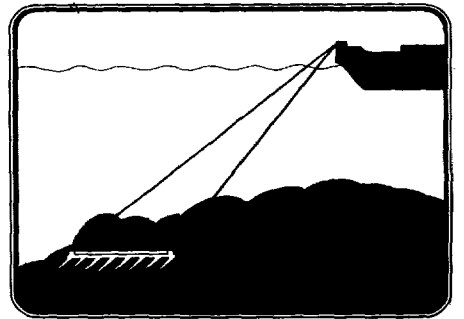
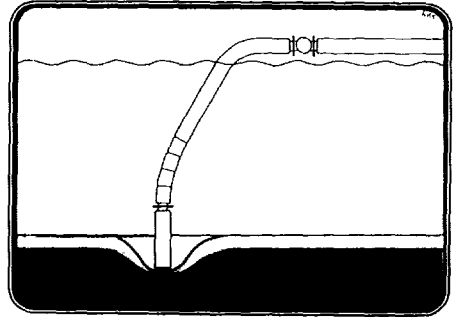
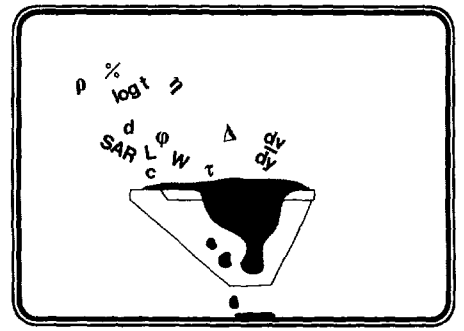
In hoeverre de geluidssnelheidsmeter noodzakelijk is voor een nauwkeurige kalibratie zal tijdens de evaluatieperiode blijken.

Gasgehalte in slib

Tijdens zuigwerkzaamheden komen regelmatig aanzienlijke hoeveelheden gas vrij. Ook het verloop van de registratie bij metingen met de radioactieve sonde kan op de aanwezigheid van gas duiden. Gas in slib kan desastreuze gevolgen hebben voor de akoestische detectie van het volumegewicht. Om de hoe-

veelheden gas te kunnen bepalen zijn in het verleden laboratoriummeetmethoden ontwikkeld. Vanwege de te bereiken nauwkeurigheden en omslachtheid van de meting, bestond er grote behoefte aan een "in situ"-meetinstrument. In samenwerking met Grondmechanica te Delft zijn specificaties opgesteld waaraan de gasvolumemeter diende te voldoen.

De gasvolumemeter is door het LGM vervaardigd. Tijdens afnametests leverde het instrument reproduceerbare gegevens op die door het nemen van controlemonsters bevestigd zijn. Om de nauwkeurigheid van de gasvolumemeter te bepalen zou een instrument nodig zijn dat een orde nauwkeuriger is. Aangezien zo'n instrument niet bestaat, is voor een theoretische foutenanalyse gekozen. Algehele conclusie is dat met het huidige instrument het gasgehalte met een nauwkeurigheid van 5 % bepaald kan worden.



5. BAGGERTECHNIEK

De belangrijkste technische ontwikkeling van de laatste jaren is ontgassing van de pompen op de sleephopperzuigers. Men kan stellen dat de produktie van de zuigers hierdoor is verdubbeld. MKO heeft de ontwikkeling altijd sterk gestimuleerd. De bodemeg is ontstaan door MKO-initiatieven. Het nut van de bodemeg is inmiddels in de praktijk bewezen.

Een uitgebreide proef in de Maasmond met een stationair zuigstelsysteem heeft opgeleverd dat het systeem voor kleinschalige baggergebieden, zoals b.v. pockets voor kademuuren, goed kan werken. Vertroebeling van het water tijdens baggeren m.b.v. een bodemeg blijkt uit metingen mee te vallen. Eenvoudige aanpassingen van het baggerproces kunnen de vertroebeling reduceren. Tijdens het storten vertoont de breedbekpijp de minste vertroebeling.

Inleiding

In dit hoofdstuk worden ontwikkelingen van de baggertechniek, zowel van het werktuig als de werkmethode, gepresenteerd, die in het kader van MKO hebben plaatsgevonden.

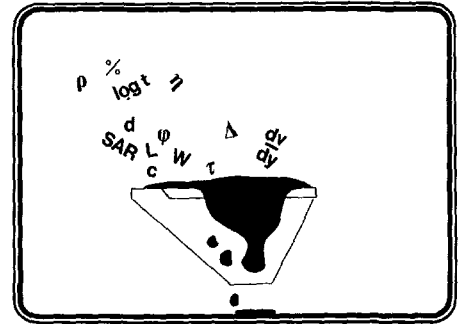
De kennis en ervaring is verkregen door het verrichten van theoretisch onderzoek aan allerlei baggerwerktuigen (met name de baggerprocessen zuigen, snijden van grond) en werkmethoden. De aandacht werd daarbij vooral gericht op het gedrag van de onderhoudsbagger-specie (vers/geconsolideerd slib, met en zonder zand, met en zonder gas). Het theoretische onderzoek is veelal gevalideerd door laboratorium en/of in situ onderzoek.

De verbeteringen in de baggertechniek die besproken worden zijn de optimalisatie van enkele aspecten van sleephopperzuigers, het toepassen en de optimalisatie van bodemegalisatiwerktuigen en een alternatief voor sleepzuigwerk in de vorm van een stationair zuigstelsysteem. Verder wordt aan het milieuaspect van baggeren en storten van baggerspecie aandacht besteed.

Een aantal baggerwerktuigen worden niet in dit hoofdstuk besproken, omdat ze niet in het MKO-kader werden onderzocht. Zo worden emmerbaggermolens niet besproken, omdat ze vanwege nautische en economische redenen niet meer zo vaak als vroeger worden gebruikt voor onderhoudsbaggerwerk. Om dezelfde redenen worden cutter- en winzuigers niet of nauwelijks toegepast.

Ook de nog steeds toegepaste grijperkraan wordt hier niet besproken. De grijperkraan wordt gebruikt voor onderhoudsbaggerwerk dat voor de sleephopperzuiger niet bereikbaar is.

Onderhoudsbagger-specie



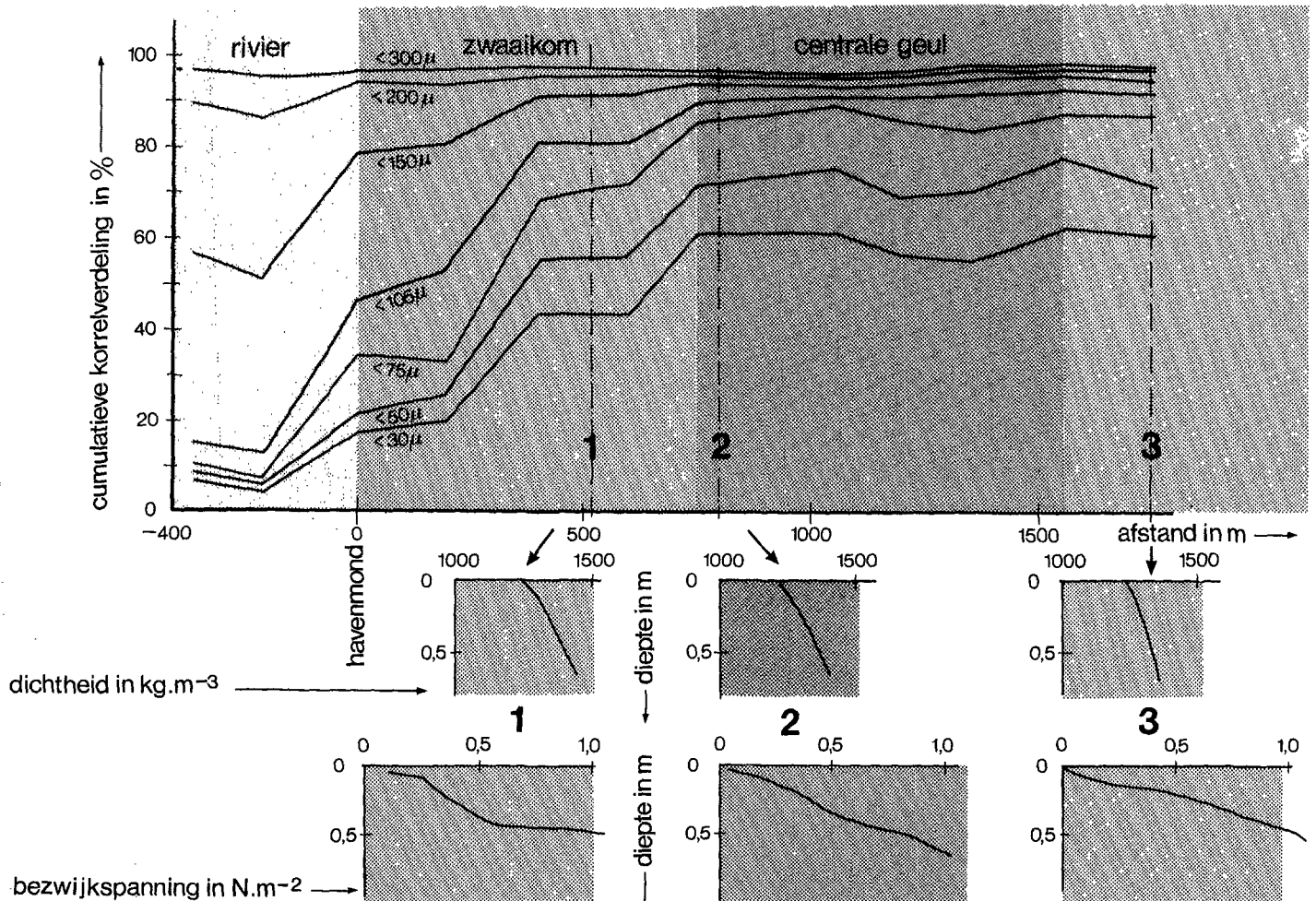
Voor het baggerproces zijn de dichtheid in situ en de sterkte van het slib belangrijke parameters.

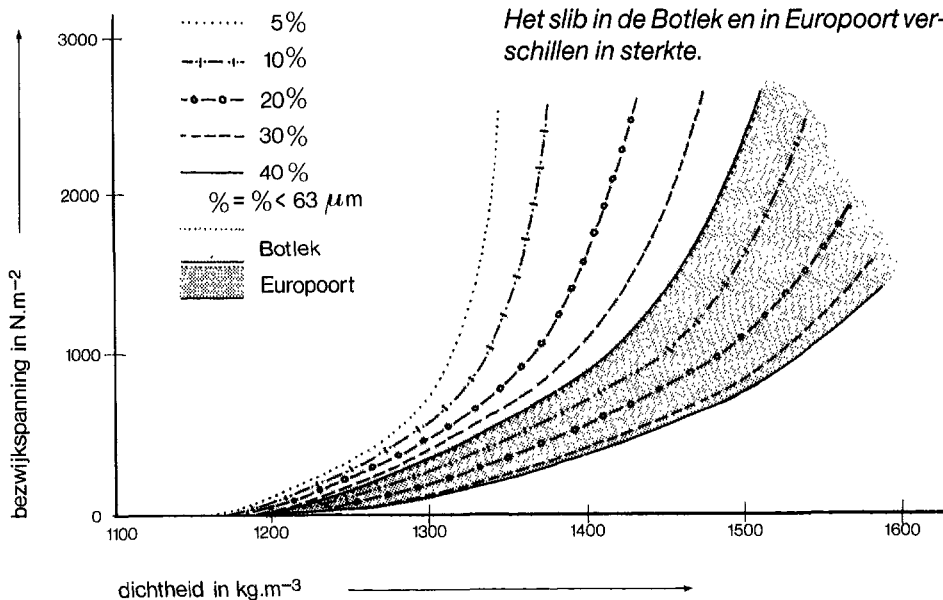
De dichtheid (massa per volume) in situ wordt hoofdzakelijk bepaald door de afgezette laagdikte per getij en de deeltjesgrootteverdeling. Beide zijn afhankelijk van de plaats in het hydraulisch systeem.

Op plaatsen waar de stroom stagneert zal de door het water meegevoerde sedimentlast tot bezinking komen.

Voorin een haven worden bijvoorbeeld

Veranderingen van slibkarakteristieken in een haven





eerst de grovere delen afgezet, vervolgens de grotere slijbvlokken. Afhankelijk van het stroomregiem zal het slib (fijn sediment) meer of minder ver in de haven worden afgezet.

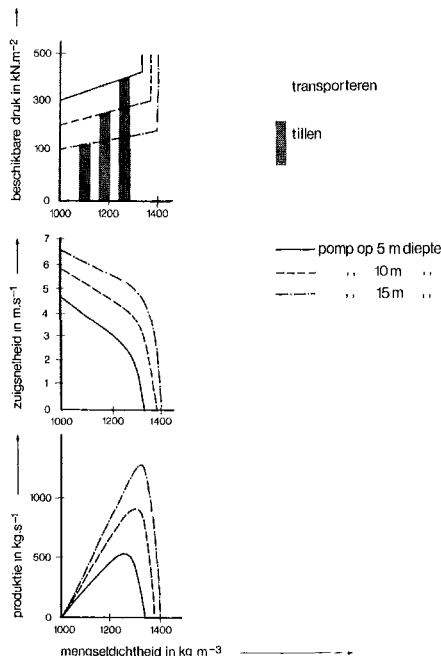
Sleephopperzuiger

De belangrijkste mogelijkheden om het zuigproces te optimaliseren zijn die, waarbij het vermogensgebruik per eenheid gezogen en afgevoerde droge stof geminimaliseerd wordt. Daarbij staan de navolgende mogelijkheden ter beschikking:

- plaats van de pomp;
- plaats, type ontgassing pomp;
- vorm, afmetingen sleepkop;
- vorm, afmetingen, aantal zuigbuisen;
- vorm, afmetingen, plaats ontgassing zuigbuis;
- vorm, afmetingen, plaats (overloop) beun;
- AMOB (arm mengsel over boord);
- enz.

Uit een gevoeligheidsonderzoek bleek dat de produktie voornamelijk wordt bepaald door het geïnstalleerde vermogen van het werktuig, de pompdiepte, de dichtheid van de specie (maximaal haalbaar 1400 kg/m³ bij redelijke snelheid) en het gasgehalte van de specie.

Er is gebleken dat bij 3 à 5 volumeprocent gas het volume zuigdebiet aanzienlijk vermindert. Bij 10 % stort de produktie geheel in. Met de methoden en middelen om de invloed van het gas op de werking van het zuigproces tegen te gaan is enige "trial and error" ervaring opgedaan. Het gedrag van het gas in slib en de invloed op het zuigproces is als volgt te karakteriseren. In de zuig-



Het sediment dat in een haven bezinkt zal in de mond meer zand bevatten dan achterin de haven.

De bodemeg.

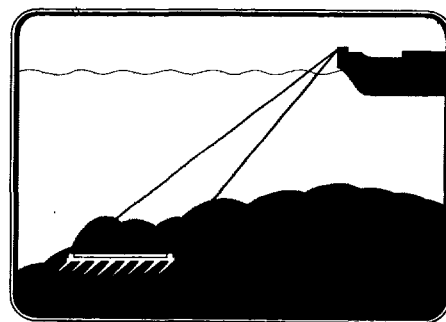


buis zal op toenemende hoogte de absolute druk afnemen. Door het stijgen van de gasbellen zal het volume van de gasbellen toenemen (b.v. bij zuigdiepte van 30 meter zo'n 15-maal).

Ten gevolge van de grote hoeveelheden gas in de pomp, valt het drukverschil over de pomp weg. Om een goed zuigproces te onderhouden moet het vrijkomende gas voor de pomp worden afgezogen. De laatste jaren zijn door de baggeraannemers goede ontgassers ontwikkeld.

Pas nadat deze goede ontgassers waren geïnstalleerd bleek de waarde van diep geplaatste pompen bij het zuigen van slib. De laatste jaren is de dichtheid van het onderhoudsslib in het beun beduidend toegenomen.

Bodemegaliseringswerktuigen



Met dit project werd beoogd het ontwikkelen, verbeteren van baggerwerk- tuigen en -methoden voor het egaliseren of wegschuiven van plaatselijke verondiepingen in een vaarweg of haven. Met de sleephopperzuiger zou de produktie te laag zijn. Bijvoorbeeld omdat bij onderhoudsbaggerwerkzaamheden de tussenvaarafstanden te groot zijn ten opzichte van de baggerplek of om-

dat plaatsen zoals steigers moeilijk bereikbaar zijn.

Bij de ontwikkeling moest zoveel mogelijk gebruik gemaakt worden van beschikbaar materieel en van praktijk- en laboratoriumproeven.

In Nederland worden een aantal verschillende systemen gebruikt. Het meest voorkomende is het systeem waarbij een schip, meestal sleepboot, een werktuig over de bodem sleept. Dit werktuig kent vele uitvoeringen, waarbij het mesblad de specie losmaakt en de verplaatsing van de specie door hetzelfde blad plaatsvindt of wel door de stroming. In sommige gevallen wordt de transportmogelijkheid door de stroom vergroot door een airlift of wordt de specie b.v. in een beun geperst via een pomp.

Heel duur en kwetsbaar en daardoor nog niet toegepast zijn onderwatervoertuigen die een mesblad voortbewegen, enkele malen gebruikt in de U.S.S.R. en Japan en de Remote Controlled Vehicles zoals toegepast in de offshore-industrie.

Vanaf ongeveer 1979 zijn de meeste van bovenstaande werktuigen op ruime schaal toegepast in havens, rivieren en op zee. In veel gevallen, uitgezonderd bij grof en hard bodemmateriaal, was het mogelijk om een zeer goede prijs/prestatieverhouding te realiseren.

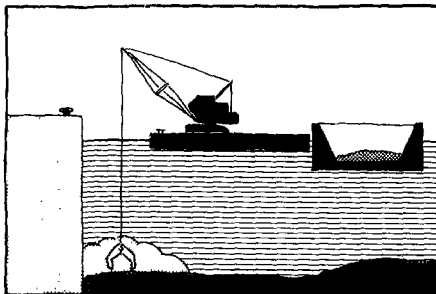
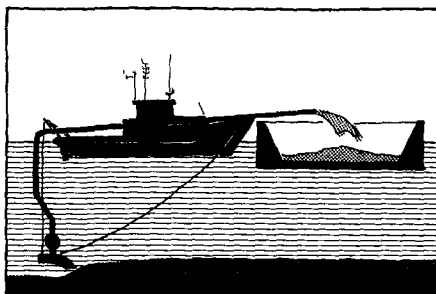
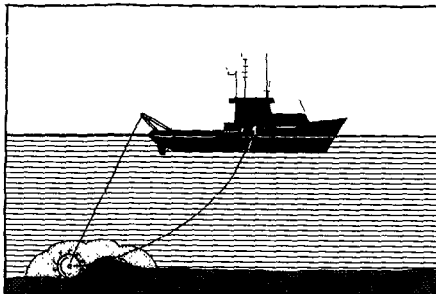
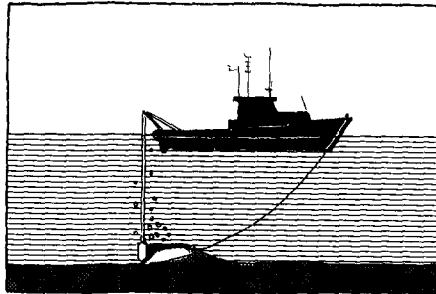
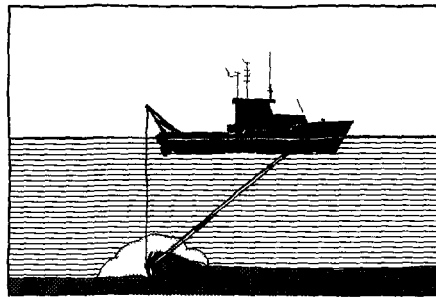
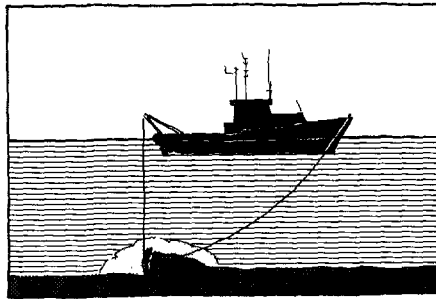
Het vergroten van de snedediepte heeft meer effect op de produktie dan bijvoorbeeld het verbreden van de snede. Op de rivier en in havenmonden kan met agiteren veel materiaal met de ebstroom worden afgevoerd. In de havens is toename in de vertroebeling door specie te verschuiven betrekkelijk gering.

Omdat er in 1979 nog geen algemeen toegankelijke snijtheorie bestond, zijn er in het laboratorium snijproeven uitgevoerd teneinde de snijkrachten te bepalen in harde zand- en kleigronden. Uit dit onderzoek volgde dat het toepassen van tanden op het mes boven een bepaalde snedediepte aantrekkelijk is en dat het toepassen van nozzles niet tot verbeteringen aanleiding geeft.

Bij het egaliseren van zandgolven op de Noordzee was het daarbij van belang om te weten of de gezogen specie met een luchtbellenpomp naar het wateroppervlak geblazen en verspreid kon worden.

Voor dit geval is een theoretisch model ontwikkeld met behulp waarvan het benodigde vermogen voor het verticaal opvoeren van de specie kon worden

Verskillende uitvoeringen van de bodemegalimator.



Het baggeren m.b.v. een grijperkraan van een sleuf voor een kade. Vervolgens wordt met de eg de resterende specie naar het diepere gedeelte geschoven.

bepaald. Vergelijking met het vermogen van een centrifugaalpomp leert dat de luchtbellenpomp oneconomisch is in exploitatie.

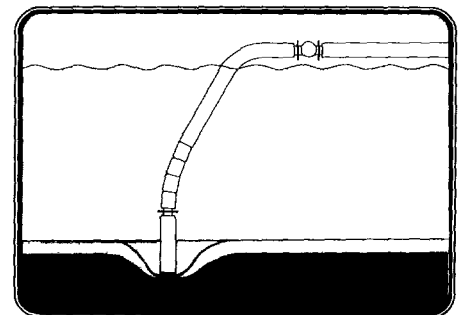
Praktijkvoorbeeld

In één van de kleinere havens van Rotterdam is een kademuur zodanig in het bestaande talud gesitueerd dat, bij de gewenste diepte ter plaatse, er een geringe hoeveelheid specie verwijderd moest worden over een lengte van 290 meter. De totale hoeveelheid specie, 8.700 m³, kon geborgen worden in de daarbij aanwezige diepere gedeelten.

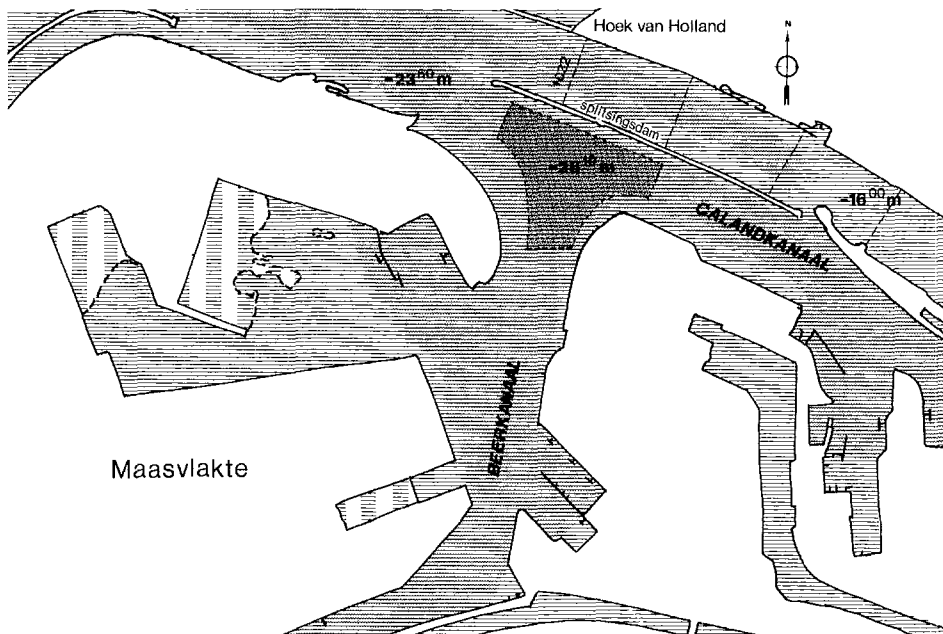
Direct langs de kade is met een kleine grijperkraan, grijperinhoud 1,2 m³, een sleuf gebaggerd ter breedte van vijf meter. Vervolgens is met een bodemegalimator, met een blad van 5 meter breed, de resterende specie naar het diepere gedeelte geschoven. Het grote voordeel van deze methode van werken is dat het mesblad van de egalimator direct pakt in de specie.

Zonder zo'n sleuf is het inbreken in de specie bijzonder moeilijk. Dit is voornamelijk het gevolg van het te kleine gewicht van de meeste egalisatiewerktuigen. Omdat verzwaren van de egalisatiewerktuigen nogal wat bezwaren geeft, is de hier besproken methode een aantrekkelijk alternatief.

Stationair zuig-systeem



In het voorgaande is reeds duidelijk geworden dat de toepassing van sleep-hopperzuigers in drukke havens en toegangseulen grote voordelen biedt boven stationair materieel op draden met eventueel een drijvende leiding, vanwege de hinder voor het scheepvaartverkeer. Bovendien scoort de moderne sleepzuiger hoog met betrekking tot de werkbaarheid, manoeuvreerbaarheid en kosten (value for money). Hoewel dus moeilijk in eigenschappen te overtreffen, lijkt een alternatief voor het sleepzuigwerk onder bepaalde randvoorwaarden beschikbaar in de vorm van de toepassing van een stationair zuigstelsel. Het systeem bestaat uit een onderwaterpomp op de bodem van



Het stationair zuigsysteem in de bufferput bij het Calandkanaal.

de haven/vaarweg, een als zinker uitgevoerde leiding naar een aansluitpunt boven water en een voortgezet leidingtracé met eventuele boosters naar een bergingslocatie op land dan wel onder water.

Het principe van het systeem is dat slib min of meer continu wordt verwijderd met een relatief klein pompvermogen in plaats van periodieke kortstondige baggeroperaties, waarbij een relatief grote capaciteit wordt ingezet.

Voorwaarde voor levensvatbaarheid is uiteraard dat het stationair zuigsysteem het totale volume verwijdert tegen dezelfde of lagere kosten als van de sleephoppers.

Het proces bij een stationair zuigsysteem kan in drie hoofdonderdelen worden onderscheiden: toelopen van het slib; hydraulisch opvoeren en wegper-

sen van het slib; en transporteren van het slib naar een bergingslocatie.

Om het toelopen naar een permanente zuigmond te waarborgen, dient een bepaalde helling van het talud aanwezig te zijn.

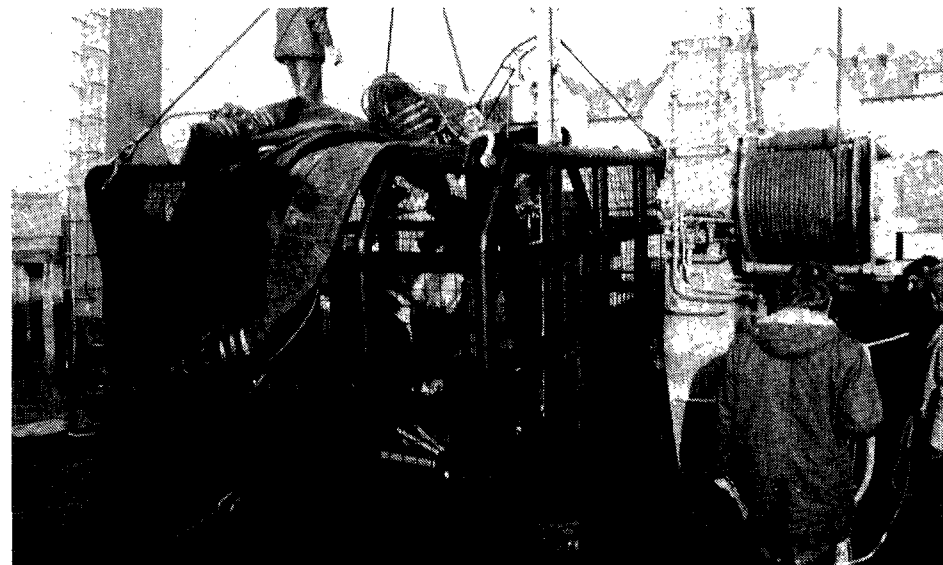
Deze helling kan verkregen worden door ter plaatse van het gebied een verdieping in de bodem te maken.

De aanslibbing en de capaciteit van de pomp moeten zodanig op elkaar afgestemd zijn, dat de vereiste helling in het slib gehandhaafd blijft. Deze plaatselijke verdieping kan tevens de functie hebben van slibvang, waarbij door het

De pomp van het stationair zuigsysteem.



Het plaatsen van het stationair zuigsysteem.

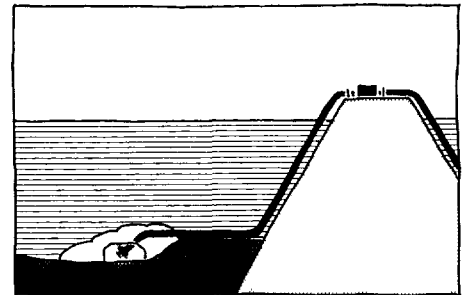


afnemen van de stroomsnelheid het zich in een suspensie bevindende slib uitzakt, waarbij aanslibbing voorbij de slibvang voorkomen wordt. In de praktijk zijn hiermee goede ervaringen opgedaan o.a. in de mond van Europoort.

Afhankelijk van de aanslibbing over een bepaalde periode kan de benodigde productiecapaciteit bepaald worden.

Uit onderzoek blijkt onder relatief gunstige omstandigheden bij slib met een laag zandgehalte de dichtheid na één dag in Europoort reeds 1.120 km/m^2 en de bezwijkwaarde drie N/m^2 te bedragen. Het gevolg hiervan is dat relatief steile hellingen nodig zijn om het slib te laten toestromen.

Uiteraard kan het toestromen bevorderd worden door fluïdisering van het slib, waardoor helling en laagdikte min-



Principe van stationair zuigsysteem.

der maatgevend worden, maar daarvoor worden wel extra kosten geïntroduceerd. Als randvoorwaarde voor een stationair zuigsysteem in Europoort werd uitgegaan van een productie van 5 miljoen m^3 slib, zoals verrekend in de sleepzuiger, binnen een tijdsbestek van drie maanden. Hiertoe is als gevolg van pieken in de aanslibbing minimaal een gemiddelde pompcapaciteit benodigd van $2.000 \text{ m}^3/\text{uur}$. Bij een continue aanslibbing over het gehele jaar zou de capaciteitsbehoefte veel gunstiger uitkomen.

Bij het ontwerp voor het systeem Europoort met een transportleiding van ca. 15 km, waarvan 11 km zeeleiding naar een stortplaats op de Noordzee (Ioswal Noord) werd gekozen voor een leidingdiameter van 80 cm met één tussenstation.

Beproeving

In 1979 zijn oriënterende proeven uitgevoerd met een stationaire zuiger. In december '83 tot en met mei '84 werd in de slibvang Europoort een tweede proef opgezet.

In principe bestond de opstelling uit een onderwaterpomp, een als zinker uitgevoerde leiding van ca. 250 m naar de splitsingsdam, een hevelpomp en een zeer korte afvoerleiding naar de Nieuwe Waterweg, waarin het gezogen slib voor

de duur van de proef geloosd mocht worden. De capaciteit van de elektrische onderwaterpomp was ca. 400 m³ per uur bij een maximale opvoerhoogte van ca. 12 m en een vermogen van 37 kW. De pomp stond opgesteld in een kooiconstructie met mazen van 10 x 10 cm teneinde verstopping van de pomp te voorkomen.

De gehele constructie had de afmetingen ca. 2,5 x 3 x 4 m en een massa van ca. 5.000 kg. De elektrische voeding van de pomp werd via een onderwaterkabel verzorgd vanaf een aggregaat van 100 kVA opgesteld in een container op de splitsingsdam. Als meetapparatuur was aan de kooiconstructie een opstand bevestigd, waaraan een waterdichte pot met hellingmeters en een slijbdruckmeter. De hellingmeters dienden eventueel scheefzakken van de kooi aan te geven, terwijl de slijbdruckmeter de hoeveelheid slijb signaleerde. In de slijbafvoerleiding op de splitsingsdam werden snelheid en concentratie van het mengsel gemeten. De meet- en verwerkingsapparatuur stonden opgesteld in een tweede container op de splitsingsdam, terwijl een aantal gegevens vanwege de moeilijke bereikbaarheid van de locatie telemetrisch werden overgezonden naar het RWS-kantoor in Hoek van Holland.

De productie varieerde sterk, doch lag over het algemeen beneden de verwachtingen.

Evenwel zijn dagproducties bereikt van ca. 2.000 ton en een gemiddelde dichtheid van 1,16. Totaal is er tijdens de maanden januari-april 23.500 ton verzet met een volume van 255.000 m³. Hierbij dient rekening gehouden te worden dat in 78 van de 180 dagen geen slijb is verzet. Gedurende de totale periode is het proefgebied 12 keer gelood. Omdat door technische problemen het systeem onvoldoende productie bereikte, kon een significante bodemontwikkeling zoals het ontstaan van een put, niet plaatsvinden. Om deze reden bleek het niet mogelijk conclusies te trekken ten aanzien van de relatie tussen het toestromen van het slijb en het zuigen door het systeem enerzijds en de bodemontwikkeling anderzijds. Ondanks alle tegenslagen heeft de proef in Europoort bevestigd dat een stationair zuigsysteem technisch mogelijk is.

Het fysisch gedrag van slijb blijkt echter nog onvoldoende bekend en kan door de optredende variatie voor onverwachte verrassingen zorgen.

Door deze oorzaak en de vertragingen ten gevolge van de onvoldoende en discontinue productie van de pomp, heeft

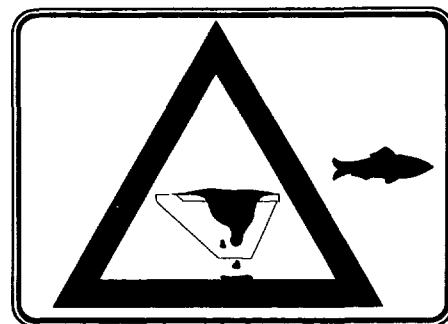
het slijb tijdens de proef een zodanige weerstand opgebouwd dat het niet meer voldoende kon toestromen.

In Europoort dient de productiecapaciteit van de pomp voldoende te zijn om het aangevoerde slijb binnen enkele dagen te verwijderen. Omdat de aanslibbing hier in pieken gedurende zeer kortstondige perioden plaatsvindt, dient de productiecapaciteit derhalve onevenredig groot te zijn.

De eisen van een hoge productie gedurende relatief korte tijd zijn in strijd met het principe van een stationair zuigsysteem en hebben een ongunstige invloed op de kosten. Bovendien vergt de lange afvoerleiding van ca. 15 km, grotendeels uitgevoerd als zeeleiding met een bijbehorende kustkruising, een grote investering. Deze elementen zijn dermate kostenverhogend, dat met het huidige (1985) marktniveau een stationair zuigsysteem geen aantrekkelijk alternatief biedt voor het sleepzuigwerk in de slijbvang Europoort. Daarentegen kan een stationair zuigsysteem in vele andere situaties zowel technisch als economisch een aantrekkelijke oplossing zijn, mits de lokale omstandigheden gunstig zijn.

Hierbij is met name van belang een continuïteit in de aanslibbing verdeeld over een lange periode en een langzame opbouw van de bezwijkwaarde van het slijb.

Milieubewust baggeren en storten



De verontreinigingsgraad van het slijb brengt met zich mee dat in bepaalde gevallen vanuit milieu(ecologische)overwegingen eisen gesteld worden aan het baggeren, transport en storten. De hoeveelheid van de specie die in het omringende water terecht komt en de verspreiding daarvan zijn in principe maatgevend voor de milieu-effecten. Vanuit MKO is onderzoek ver-

TABEL 1 VERTROEBELING T.G.V. BAGGERWERKZAAMHEDEN IN HET BAGGERGEBIED (MG/L)

Wijze van baggeren	Vooraf aan de werkzaamheden gem.	Tijdens het baggeren		Na afloop		
		gem. (alle verticalen)	max. (één vertic.) gem.	1e 30 min. gem.	2e 30 min. gem.	3e 30 min. gem.
Slibbeg	51	74	198	39	28	
Sleephopper zonder AMOB	47	94	288	84	88	58
Sleephopper met AMOB	35	227	816	98	72	67
IN DE BOVENLAAG						
Slibbeg	45	42	87	24	22	
Sleephopper zonder AMOB	32	62	189	39	35	33
Sleephopper met AMOB	27	131	668	70	56	55
IN DE ONDERLAAG						
Slibbeg	56	105	375	54	33	
Sleephopper zonder AMOB	62	126	387	128	141	83
Sleephopper met AMOB	43	323	965	127	88	79



richt in de vorm van een literatuurstudie en een aantal metingen, met als doel deze bron voor milieueffecten, afhankelijk van de werkmethode te kwantificeren.

Ten aanzien van het baggeren volgde uit een oriënterende literatuurstudie een indicatieve relatie tussen kosten en vertroebeling, afhankelijk van het gebruikte baggerwerktuig. Uit naderhand uitgevoerde metingen is gebleken dat de vertroebeling rond een slibeg daarbij niet goed is ingeschat. Deze blijkt veel geringer te zijn. In tabel 1 is een impressie weergegeven van resultaten van metingen nabij baggerwerkzaamheden in de Rotterdamse havens.

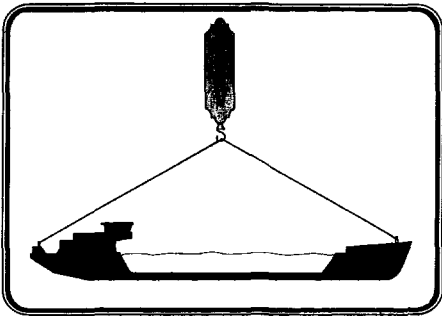
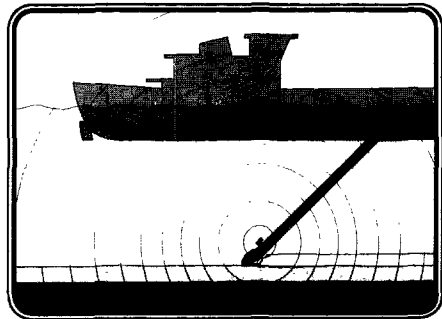
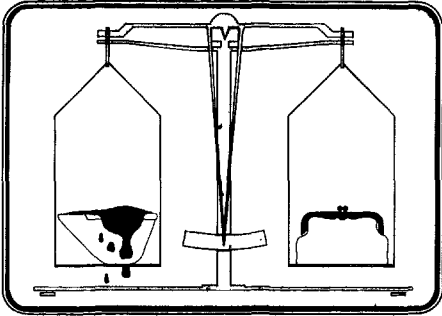
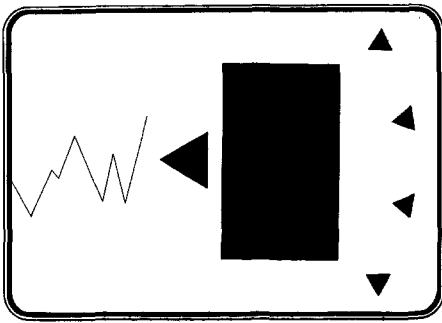
Een belangrijke conclusie van dit onder-

Opwerveling van slib tijdens baggerwerkzaamheden.

zoek is dat kleine aanpassingen in de werkmethode de vertroebeling aanzienlijk kunnen reduceren. Bijvoorbeeld geen AMOB (= automatisch systeem om specie met een te lage dichtheid overboord te persen: Arm Mengsel Over Boord) tijdens het baggeren en geheel sluitende grijpers van grijperkranen.

Voor wat betreft het minimaliseren van vertroebeling tijdens het storten blijkt uit metingen dat de toepassing van een z.g. breedbekpijp verreweg de beste resultaten op te leveren. Dit is een soort spruitstuk dat wordt gemonteerd op het einde van de persleiding. Door de aldus aangepaste uitstroomopening direct boven de bodem te hangen stroomt de

specie met lage snelheid over de bodem af. Een ontgassingsinstallatie is doeltreffend in het voorkomen van gasontwiking en met gevolg vertroebeling bij het uitstromen van de specie. Onderdeel van voornoemd onderzoek vormde tevens het onderzoeken van de haalbaarheid van specieberging in putten in de zeebodem. Daartoe werd een put met een inhoud van 65.000 m³ gevuld met 50.000 m³ specie. Uit begeleidende metingen bleek dat 100 % daarvan in de put is achtergebleven en dat na verdere consolidatie de put met op natuurlijke wijze aangevoerd sediment afgedekt wordt. Afdekken van vers gestort slib (zgn. capping) is daarbij niet onderzocht.



6. BESCHRIJVING VAN HET BAGGERPROCES MET SLEEPZUIGERS

Het MKO-project Baggerprogrammering heeft tot nu toe de blauwdruk opgeleverd van het grootste gedeelte van de automatisering van de gehele baggerprogrammering. In 1987 zijn zowel de computer aan boord als aan de wal operationeel. Dit betekent dat het gehele proces van survey, baggerkaarten, controle en registratie aan boord tot en met de verwerking van de gegevens, besteksadministratie, evaluatie en rapportage dan met een geautomatiseerd systeem plaatsvindt. Een integraal onderdeel van het systeem aan boord is het beunmeetsysteem ter verkenning van de gezogen hoeveelheden slib. Dit door MKO ontwikkelde systeem is nu operationeel.

Inleiding

In de recente baggergeschiedenis is een duidelijke trend waarneembaar die aangeeft dat de opdrachtgever steeds meer specifieke taken op zich heeft genomen welke leiden naar een risicovermindering voor de aannemer en dus een kostenverlagend effect hebben.

In de huidige situatie bijvoorbeeld is het zo dat de aannemer verantwoordelijk is voor optimale prestaties van het schip en de opdrachtgever verantwoordelijk is voor de plaats waar gebaggerd wordt en voor de baggerhoeveelheden.

Daarbij wordt verrekend op kubieke meters baggerspecie met een bepaalde productieclausule welke inhoudt dat bij hogere producties hogere kubieke-meterprijzen gelden. De helft van de extra hieruit voortkomende kosten vloeit echter terug naar de opdrachtgever.

Reden genoeg om als opdrachtgever inzicht te hebben in het proces, de hoeveelheden en de plaats waar gezogen wordt kortom: hoeveel kubieke meters, waar en wanneer.

MKO heeft zich tot taak gesteld om een geautomatiseerd gegevensverwerkend systeem te bouwen ter ondersteuning, controle en evaluatie van het baggerwerk.

Het project wat dit moet realiseren wordt "Baggerprogrammering" genoemd. Separaat van het bovengenoemde project wordt het project "Beunmeetsysteem" beschreven. In de nabije toekomst wordt het resultaat van de beide projecten geïntegreerd. Daarna wordt het project "Gestuurd Baggeren" beschreven. Dit project

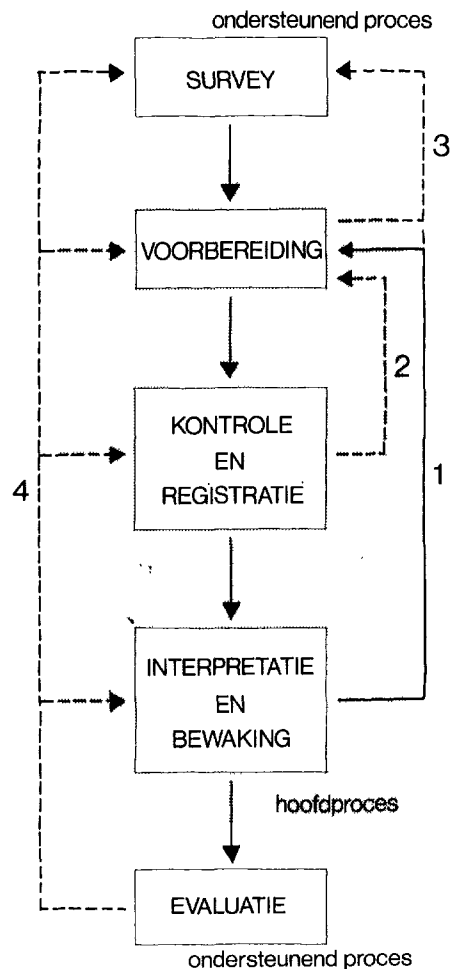
beoogde d.m.v. een continue viscositeitsteitsmeting nabij de zuigkop de produktie te verhogen.

Binnen het totale (onderhouds)baggerproces met sleepzuigers onderscheiden zich deelprocessen.

Uit het schema blijkt, dat het hoofdproces is opgebouwd uit de deelprocessen:

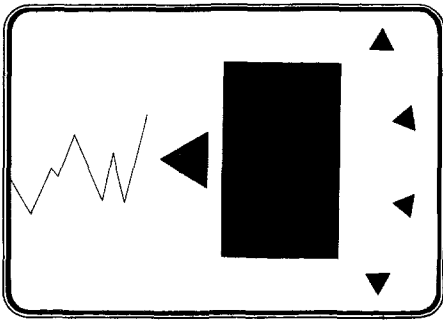
- . procesvoorbereiding;
- . procescontrole en -registratie;
- . procesinterpretatie en -bewaking.

De ondersteunende deelprocessen bestaan uit: het opnemen en registreren van de bodemgesteldheid in de vaargeulen (survey) en het evaluerend proces. De resultaten uit het deelproces interpretatie en bewaking zijn weer invoer voor de voorbereidende fase van de volgende periode (1). In geval er tijdens de uitvoering van het werk (de registrerende fase) sterk van de planning afgeveken moet worden, wordt de voorbereidende fase tussentijds opnieuw doorlopen (2). Het lodingsprogramma kan zowel door de voorbereidende als de interpreterende fase worden beïnvloed (3). Resultaten van het evaluerend proces kunnen invloed uitoefenen op elk van de deelprocessen (4).



Baggerprogrammering

Doel van de geautomatiseerde gegevensverwerkende systemen is het verschaffen van betrouwbare informatie. Dit maakt een verbeterde kwaliteitscon-



trole mogelijk, evenals een betere ondersteuning van het management dat zijn beslissing beter kan onderbouwen. In het algemeen zal de invoering van dergelijke systemen een meer rationele en meer efficiënte bedrijfsvoering mogelijk maken, hetgeen tot kostenvermindering zal kunnen leiden.

De op computers gebaseerde systemen kunnen gegevens verwerken in een tempo en in hoeveelheden, die ver uitgaan boven het menselijk kunnen. Voorts doen zij dit op een objectieve en altijd reproduceerbare manier, en hebben ze niet te lijden van vermoeidheid. En, indien het nemen van beslissingen tot hun taak behoort, doen zij dit op strikt rationele basis. Aan de andere kant hebben dergelijke systemen een sterke beperking: ze kunnen niet improviseren. Zij kunnen alleen antwoord geven op vragen, waarvoor ze geprogrammeerd zijn; dit sluit alle incidentele en nieuwe situaties uit, en juist de in het baggerwerk voorkomende situaties behoren vaak tot deze laatste categorieën. De eerder beschreven deelprocessen bepalen de functies van het te ontwikkelen systeem, deze functies bepalen vervolgens de deelsystemen waaruit het systeem wordt opgebouwd. Analyse van de functies heeft geleid tot de volgende opbouw van deelsystemen.

Deelsysteem procesvoorbereiding

De taak van dit deelsysteem is het zo optimaal mogelijk programmeren van de noodzakelijke baggerwerkzaamheden. Lodings- en dichtheidsgegevens dienen als invoer voor het systeem, waarbij wordt voldaan aan de vanuit het systeem gestelde eisen ten aanzien van presentatie en uitvoering van de metingen. De belangrijkste criteria bij het opstellen van het baggerprogramma zijn: omvang van het baggerwerk, urgentie van het uit te voeren baggerwerk en de beschikbaarheid, geschiktheid en capaciteit van het in te zetten materieel.

Per eenheid van oppervlakte worden op basis van de aanwezige lodings- en dichtheidsgegevens, in relatie met de streefdiepte, de te baggeren hoeveelheden bepaald. Logisch samenhangende baggergebieden worden gecombineerd en de per gebied te baggeren hoeveelheden gesommeerd, waarna het werkprogramma voor wat betreft de te verrichten werkzaamheden vastligt. Dan vindt aan de hand van de capaciteitsgegevens toekenning van hoeveelheden aan werktuigen plaats en kan het weekprogramma per werktuig vastgesteld worden. Verschillen tussen benodigde en beschikbare capaciteit komen in dit stadium van het proces aan het licht. Tevens kan een schatting van de kosten gemaakt worden.

Deelsysteem procescontrole en -registratie

Het doel van dit systeem is het doen uitvoeren van het zuigwerk volgens de uit het deelsysteem voortvloeiende planning en het vastleggen van gegevens omtrent het werkelijke verloop van het proces teneinde in het deelsysteem interpretatie een terugkoppeling naar de planning mogelijk te maken en gegevens beschikbaar te krijgen ten behoeve van het deelsysteem evaluatie. Teneinde een optimale uitvoering van het vastgestelde programma voor een in te zetten baggerwerktuig mogelijk te maken zijn "vaste" en actuele "real time" gegevens noodzakelijk.

De "vaste" gegevens aan boord van het baggerwerktuig als bestanden aanwe-

zig, zijn nog nader onder te verdelen in nagenoeg niet veranderde gegevens en gegevens die voortkomen uit het deelsysteem procesvoorbereiding en in feite de baggeropdracht bepalen.

Onder de eerste categorie vallen:

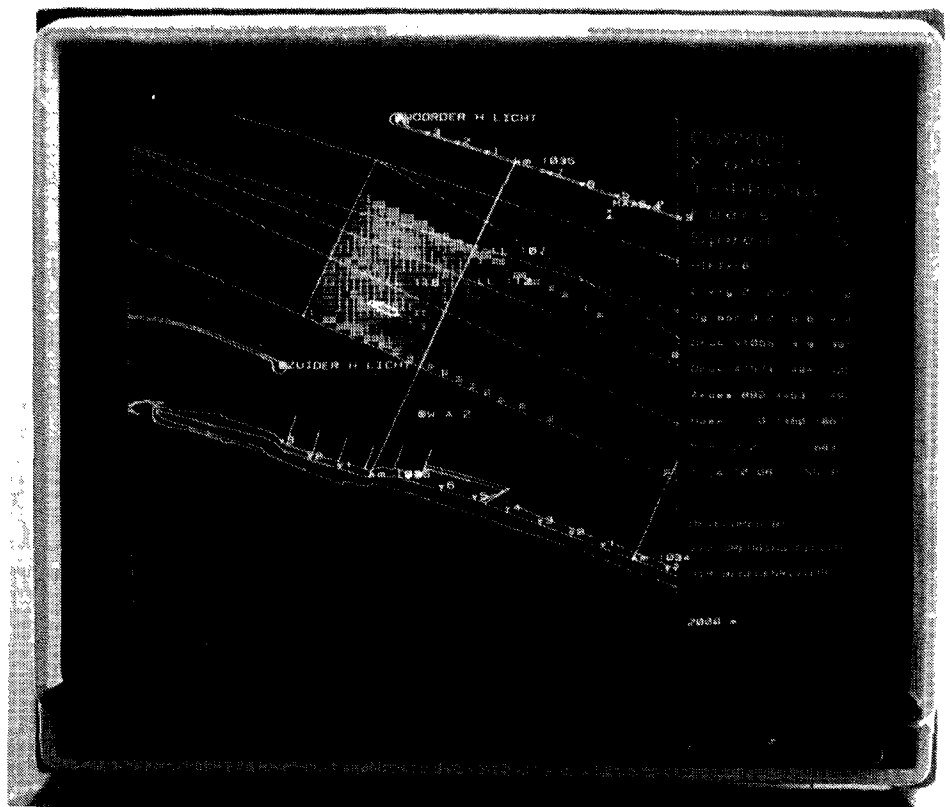
- een kaartenbestand met topografische gegevens als vaargeulbegrenzing, vaargeulas, lichtenlijnen, boeien, kabels, kademuren, bruggen, etc.;
- deelmaterieelbestand. Namelijk dat deel van het materieelbestand dat op het werktuig van toepassing is;
- (deel-)besteksbestand. Uit het bestek voortvloeiende, voor desbetreffend werktuig van belang zijnde randvoorwaarden en processen t.a.v. baggeren stortlocaties, prestaties etc.

De tweede categorie bevat:

- hoeveelheden. Dit is een kaartenbestand van baggeren stortlocaties met: begrenzingen, vaarlijnpatronen en te baggeren hoeveelheden;
- baggerprogramma. Dit is in feite het geplande programma van het baggerwerktuig in de betreffende week, bestaande uit een routeplanning en een met deze activiteiten samenhangende tijdsplanning.

De actuele gegevens worden "real time" door de diverse acquisitiesystemen op het werktuig ingewonnen en

Display aan boord van de zuiger met de topografie, de baggerkaart en de plaats van het schip.



dienen, in meer of mindere mate bewerkt en/of aan baggerprogrammering, scheepsgegevens en bestekseisen getoetst, ter informatie aan de stuurman en opzichter te worden aangeboden. De in te winnen gegevens zijn o.a.:

- plaats, koers en snelheid van het schip;
- plaats (horizontaal en verticaal) van de zuigkoppen;
- mengsnelheid en -concentratie en de hiervan afgeleide pompproductie; vacuüm, toerental van de pomp, snelheid van het schip, persdruk en status van afsluiters, pijp en bodemkleppen;
- beunproductie (= toename van de lading);
- beuninhoud;
- tijd (zowel tijdstip als tijdsduur) als basis voor be- en verwerking en toetsing;
- waterstand t.o.v. het referentievlak.

Van genoemde gegevens komt de waterstand niet van signaalgevers op het baggerwerktuig zelf, doch dient met behulp van waterstandopnemers elders radiografisch aangeboden te worden. Dit radiografisch systeem wordt ook gebruikt om gegevens omtrent het verloop van het baggerproces van het baggerwerktuig naar de wal te zenden. Het is nu van belang om het baggerprogramma te confronteren met de werkelijke resultaten, om te zien of bijsturing noodzakelijk is. Parameters zijn dan:

- plaats zuigkoppen en plaats schip. Voldoet zuigen stortlocatie aan planning en bestekseisen;
- tijd (tijdsduur). Speelt het proces zich af binnen de door de planning gestelde limieten;
- pompproductie. Voldoet deze aan uit ervaring met het werktuig en grondsoort voortkomende norm;
- beunproductie. Dit is de toename per tijdseenheid van de totale in het beun aanwezige lading. Deze parameter, gerelateerd aan de totale cyclustijd, is een van de grootheden op grond waarvan beslist kan worden of er doorgebaggerd moet worden of niet. (Andere overwegingen, die in deze beslissing een rol spelen zijn: aard van de specie (slib en/of zand), positie in het baggergebied en voorliggende koers.);
- cyclustijd. Een cyclus is opgebouwd uit:
 - leegvaren van stort- naar zuigplaats;
 - zuigen;
 - volvaren van zuig- naar stortplaats;

– storten, of walpersen. Vol- en leegvaartijd worden vergeleken met de vaarnorm, aldus eveneens een indicatie vormend voor het prestatieniveau van het werktuig; produktiecyclus.

De beunproductie gedeeld door de totale cyclustijd kan vergeleken worden met de zuignorm van de betreffende zuigcode hetgeen een goede indicatie van de prestatie van het werktuig vormt.

De toetsing van de hierboven genoemde parameters aan de systeemeisen dient in geval van overschrijding van grenzen tot een duidelijke signalering te leiden.

Tevens dient een grensoverschrijdende situatie geregistreerd te worden, met de tijdsduur en de mate van overschrijding. Tenslotte moet de beunproductie op basis van plaats gesommeerd worden tot gebaggerde hoeveelheden, enerzijds ten behoeve van vastlegging maar ook ten behoeve van uitvoering in die zin, dat plaatsgerelateerde, gebaggerde hoeveelheden gedurende de week getoetst kunnen worden aan de in het baggerprogramma bepaalde produktieverwachting.

Deze toetsing kan leiden tot een bijstelling van het programma door het deelsysteem controle en registratie (dus tij-

dens de uitvoering van de baggeropdracht).

Ook een voortdurend optredend verschil tussen zuignorm en nettocyclusproductie, en norm en vaartijd, kan leiden tot bijstelling van die normen.

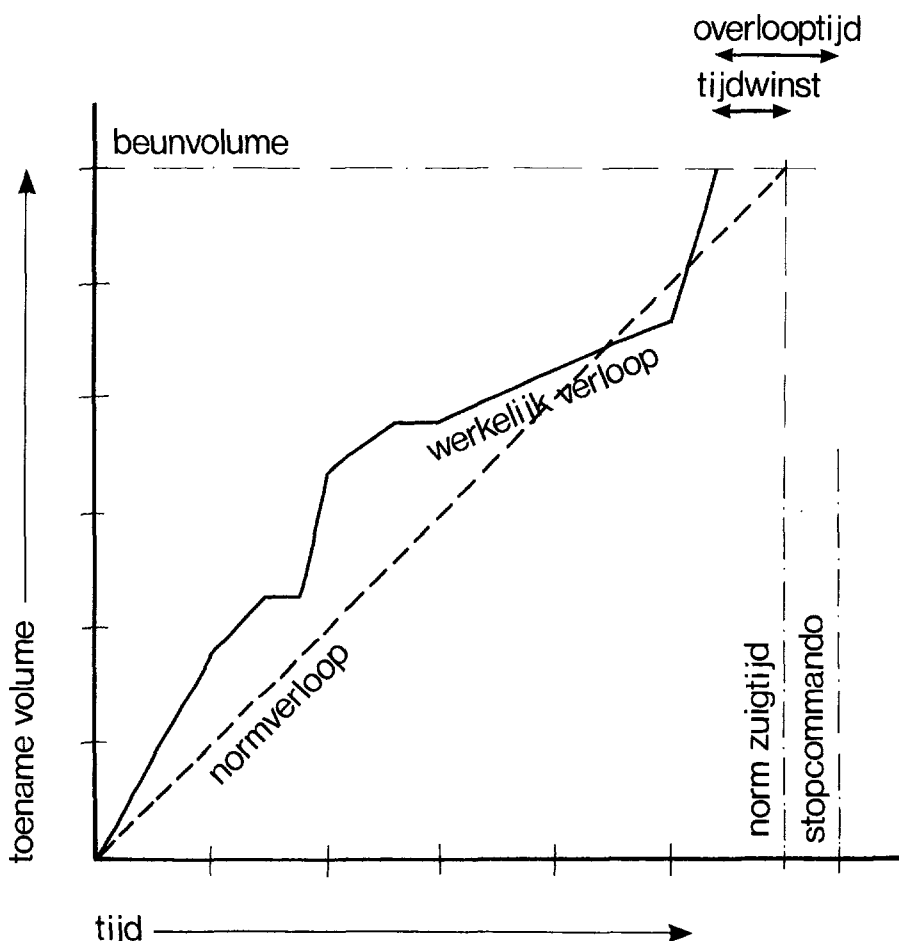
Voor het vastleggen van procesgegevens zijn er drie uitgangspunten op basis waarvan vastgelegd moet worden, te weten: naar plaats, per reis (= reisrapport) en naar tijd, dit alles uiteraard per baggerwerktuig.

De vastgelegde gegevens zijn de invoer voor de deelsystemen interpretatie en bewaking en evaluatie.

Kenmerkend voor de totale procesgang in het hoofdproces is de periodieke aard ervan. Elke week wordt het hoofdproces eenmaal doorlopen. In dit periodieke proces is het deelsysteem interpretatie/bewaking de afsluiting en dit bepaalt de recapitulerende aard van dit procesonderdeel.

De, uit de verschillende baggerwerktui-

Toekomstige verrekening van baggerwerkzaamheden kan plaats vinden op basis van afwijking van genormeerde grenzen ten aanzien van tijd, snelheid, produktie etc. Tijdens het werk kan de afwijking t.o.v. de norm zichtbaar worden gemaakt.



gen afkomstige gegevensverzamelingen worden op basis van de volgende uitgangspunten samengevoegd, opgeslagen en/of op enigerlei wijze uitgevoerd op document: naar plaats, per bestek, per werktuig.

Hieruit zijn diverse grootheden te destilleren die gebruikt kunnen worden voor bewaking van werktuigproductie, produktienorm en financiële bewaking. De op het reisrapport vermelde gegevens worden respectievelijk vergeleken met de produktieverwachting in het baggerprogramma en voor dat werktuig en die zuigcode geldende produktienorm. Afwijkingen worden gesignaleerd en dienen in de eerste plaats ter informatie van de verantwoordelijken voor de uitvoering van het baggerwerk. De gecumuleerde weekproducties per baggervak worden getoetst aan de in het baggerprogramma vastgelegde produktieverwachting. Toetsing per eenheid van oppervlak is nodig om de ontwikkeling van probleemgebiedjes te onderkennen. Bovendien moeten afwijkingen met de produktieverwachting in het baggerprogramma van de volgende periode (week) verwerkt worden. De globale toetsing per zuigvak kan, in geval van significante verschillen, leiden tot een bijstelling van de produktienorm voor de desbetreffende zuigcode.

Bovendien vormen deze weekstaten de basis voor betalingen aan de aannemers.

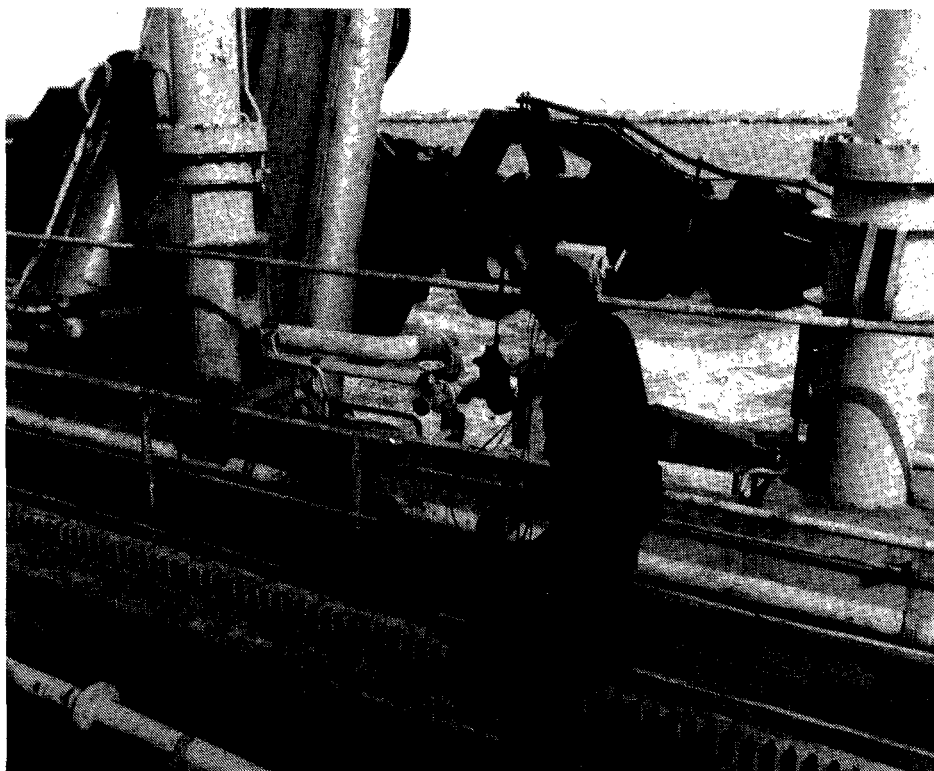
De resultaten van deze kostenbewaking dienen in het algemeen ter informatie van het management en kunnen via deze weg aanleiding geven tot aanpassing van het totale systeem of onderdelen hiervan, met name voor wat betreft de uitgangspunten van de deelsystemen, opnieuw vaststellen van criteria voor toetsing, uitbreiden of inkrimpen van de beschikbare capaciteit, etc.

Deelsysteem evaluatie

Doel van dit deelsysteem is gegevens over een langere periode te analyseren t.b.v.:

- . morfologische ontwikkelingen;
- . werktuigprestaties;
- . financiële zaken;
- . researchwerkzaamheden.

De (reis)rapportenbestanden per werktuig zijn in hun geheel bedoeld als invoer voor lange-termijnevaluaties van prestaties van baggerwerktuigen en prestaties per code. Het weekstatenbestand is nodig voor het opmaken van betaaldaten en levert gegevens voor evaluaties ten behoeve van nieuw te formuleren bestekken. De toestandbestanden: productie en ladingen van voorgaande periodes moeten in het evaluatiedeel-



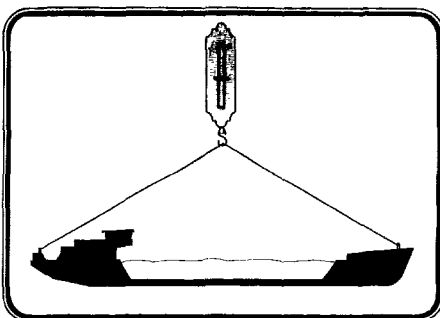
Het nemen van een sedimentmonster uit het beun.

systeem verwerkt worden tot archiefbestanden; deze dienen als basis voor morfologische evaluaties over langere termijn.

Stand van zaken

Aan boord wordt in de toekomst een systeem gebruikt (baggergraaf) welke een controlerende en registrerende functie heeft. Momenteel zijn alle voorbereidende werkzaamheden afgerond. Medio 1987 zal het systeem gereed zijn. Aan de wal staat momenteel een systeem met een interpreterende, bewakende en evaluerende functie. De systeemeisen zijn door MKO bepaald waarna de diverse diensten de ontwikkeling zelf ter hand hebben genomen. In 1988 zal ook het deel evaluatie van het systeem volledig in gebruik worden genomen.

Beunmeetsysteem

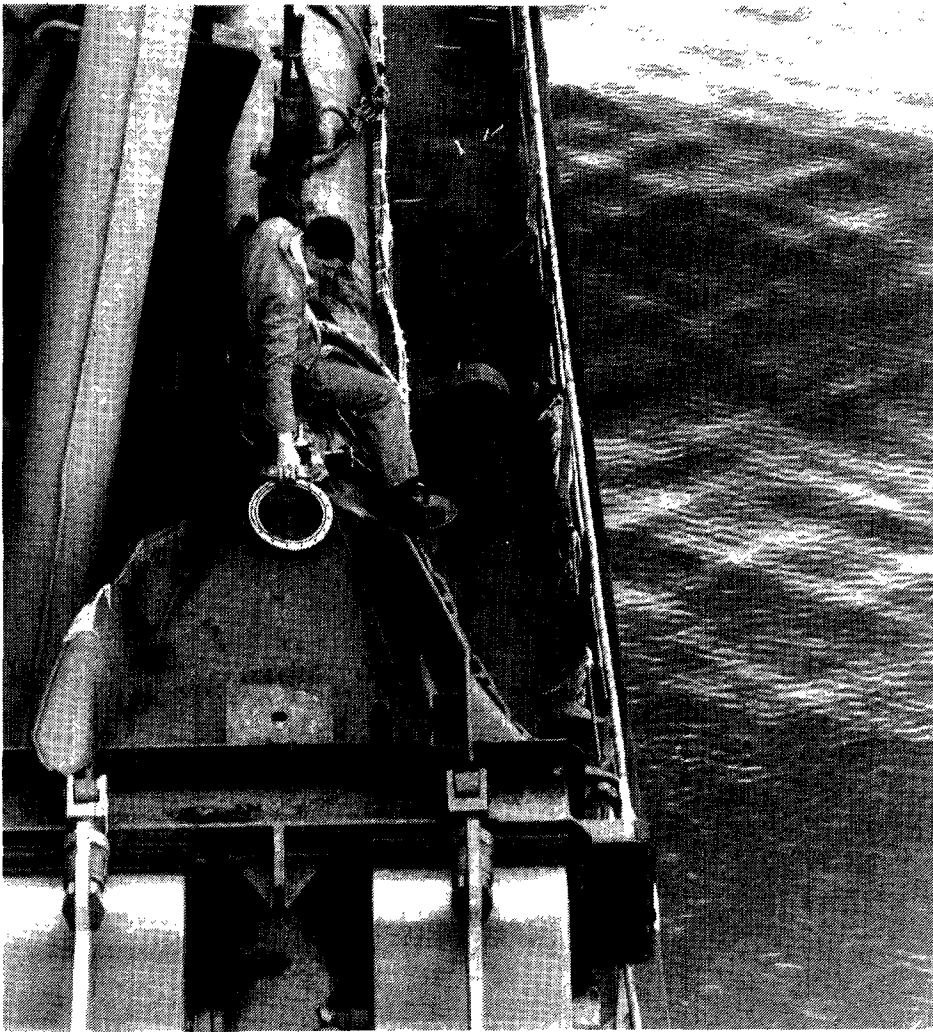


De doelstelling van het project Beunmeetsysteem kan worden omschreven als: "Het ontwikkelen van een meetsysteem ter vaststelling van de verrek-

bare hoeveelheid lading in een sleeppopperzuiger en ter beoordeling van de prestatie tijdens het baggerproces". Omstreeks 1977 zijn twee projectgroepen met onderzoekingen en ontwikkelingen van start gegaan.

De eerste groep heeft getracht langs empirische weg tot resultaat te komen. Uit de resultaten bleek dat het meten van de verrekenbare vloeibare ladingen door middel van een groot membraan (\varnothing 100 cm) onder in het beun kwetsbaar was en niet geschikt voor zandladingen. In de jaren t/m 1982 werden een laboratoriumproef en twee praktijkproeven aan boord van een sleeppopperzuiger uitgevoerd met als resultaat dat het drijvermeetsysteem kwetsbaar bleek en alleen geschikt was voor het bovenste deel van het beun en voorts dat de stappenbaak (elektrische geleidendheidsmeter) ook over langere tijd functioneerde.

De tweede groep ging na welk systeem uit het grote aantal mogelijke oplossingen de gunstigste perspectieven bood. De doelstelling was het onderzoeken van de haalbaarheid van het ontwikkelen van een geautomatiseerd beunmeetsysteem, waarmee de gewichtshoeveelheid droge stof in het beun na en tijdens het laadproces kan worden bepaald en waarmee indien mogelijk het laadproces gestuurd kan worden. Twee systemen zijn als beste uitgesleuteld nl. een radioactief meetsysteem waarbij de soortelijke massa van de lading met 4 verstrooiingssonden wordt bepaald en een inzinkmeting in combinatie met een niveaumeetsysteem.



Het monteren van de viscositeitmeter op de zuigbuis nabij de zuigkop.

De huidige projectgroep heeft in eerste instantie de ingeslagen weg van projectgroep I vervolgd. De nieuwe doelstellingen waren:

- het meten van alle verrekenbare ladingen zowel vloeibare als bezonken;
 - het continu meten van de lading ter beoordeling van het laadproces;
 - het systeem moet gebruikersvriendelijker, sneller, nauwkeuriger, objectiever en bedrijfszekerder dan het bestaande systeem zijn.
- Aan boord van een sleepzuiger werden twee praktijkproeven uitgevoerd, een in 1983 met de door projectgroep I voorgestelde configuratie en een in 1985 waarbij gebruik werd gemaakt van de door projectgroep II aanbevolen inzinkmethode. De resultaten zijn:
- het drukmeetsysteem in het beun was niet geschikt voor het meten van zandladingen;
 - de lange stappenbaak (12 m) werd beschadigd tijdens het lossen van ladingen;
 - de korte stappenbaak (3 m) is te kort in relatie tot de laagste stand van de overloop;

- de inzinkmethode, waarbij elektrische drukopnemers worden toegepast, blijkt betrouwbaar.

Verrekeningsvormen

Bij het uitvoeren van baggerwerken met sleephopperzuigers zijn een aantal mogelijkheden om tussen opdrachtgever en aannemer tot kostenverrekening te komen.

Het baggerwerk kan worden onderscheiden in verdiepingsbaggerwerk en onderhoudsbaggerwerk.

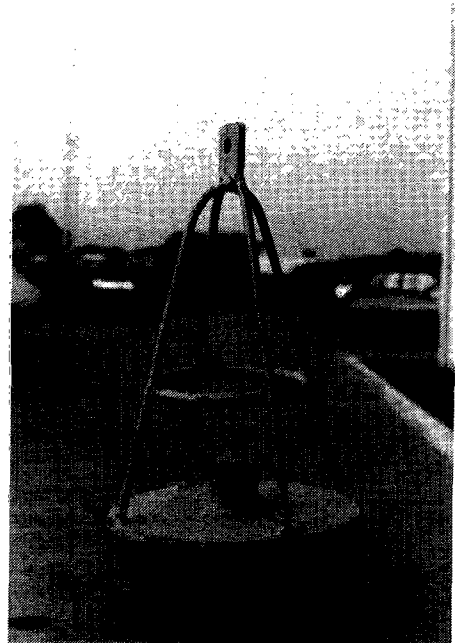
Onder verdiepingsbaggerwerk wordt verstaan het eenmalig uitvoeren van een voorgeschreven verdieping van het vaarwater, haven e.d. Het onderhoudsbaggerwerk daarentegen is een periodiek of continu proces, waarbij in een bepaald gebied een voorgeschreven diepte van de bodem moet worden onderhouden.

De mogelijke verrekeningsvormen tussen opdrachtgever en aannemer zijn gebaseerd op verrekening in profiel van ontgraving, de middelen van vervoer of in uren.

De hoeveelheden bij verdiepingsbaggerwerk worden in het algemeen in profiel van ontgraving vastgesteld.

Voor het begin en na het einde van het werk wordt door de opdrachtgever en

aannemer op eenduidige wijze de bodemligging bepaald. De binnen de afgesproken grenzen vallende verdieping wordt in m^3 verrekend.



Halve bol om het 1.2 nivo in het beun te bepalen.

Bij onderhoudsbaggerwerk worden afhankelijk van de omstandigheden alle vormen toegepast. Bij periodiek onderhoud is verrekening in profiel van ontgraving mogelijk mits aanzanding en ontgraving elkaar niet beïnvloeden. In veel gevallen zal echter verrekening in de middelen van vervoer plaatsvinden, zoals het bij het continue onderhoudsbaggerwerk de regel is.

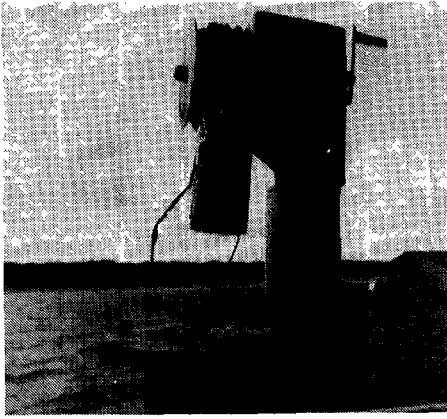
In een aantal gevallen kan een sleepzuiger door de opdrachtgever voor het uitvoeren van diverse soorten baggerwerk gehuurd worden. Daarbij worden de kosten van de sleephopperzuiger door middel van een overeengekomen bedrag in uren verrekend.

Halve bol

Op basis van verrekening in de middelen van vervoer is tot nu toe de methode met de halve bol gehanteerd.

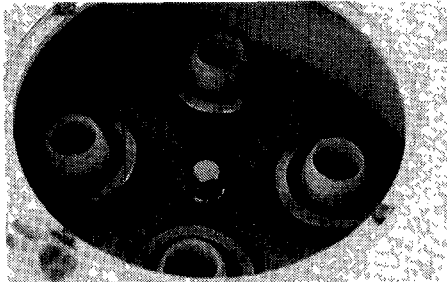
Deze methode wordt gebruikt voor zandladingen en voor het vaste deel bij gemengde ladingen (zandladingen met slib in suspensie). Na beëindiging van het laden wordt in het beun met behulp van de halve bol aan een peildraad ter weerszijden van het beun op vaste standen, ten opzichte van een vergelijkingsvlak de bovenkant van de lading bepaald. Dit is de lading met een dichtheid groter dan 1.200 kg/m^3 .

De inhoud van deze lading wordt vervolgens uit de peiltabel afgelezen. Zand, grind, klei, geconsolideerd slib en dergelijke zijn de grondsoorten die in de



Het monstername-apparaat aan boord van de zuiger.

betekenis van "vaste lading" kunnen worden aangemerkt, waarvoor hoeveelheidsbepaling op bovenomschreven wijze mogelijk is. Bij gemengde ladingen wordt hierbij nog het verrekenbare deel van de vloeibare ladingen opgeteld.



Centrifuge.

Centrifuge

Om dat te bepalen wordt in het beun in vaste verticalen met een speciaal monsternameapparaat op halve hoogte van de vloeibare lading een monster van 1 liter genomen. Het aantal verticalen is afhankelijk van het schip.

Om het materiaal versneld te laten bezinken worden vier literflessen in een BHG-centrifuge type BHG 900 aan de middelpuntvliedende kracht blootgesteld. De draaisnelheid bedraagt 1.500 omwentelingen per minuut en de draaitijd op volle toeren 10 minuten.

Daarna wordt de fles in het afleesapparaat geplaatst. Het bezonken gedeelte wordt bepaald.

Het aldus in het laboratorium bepaalde percentage van het residu wordt als maatgevend voor de gehele vloeibare lading aangemerkt. Het residu wordt in m³ vaste lading verrekend.

Bij gemengde ladingen wordt deze hoeveelheid bij de eerder met de halve bol bepaalde hoeveelheid opgeteld.

Inzinkmethode

Voor de verrekening tussen opdrachtgever en aannemer wordt in deze methode als eenheid "ton droge stof" gehanteerd.

De tonnen droge stof worden rekenkun-

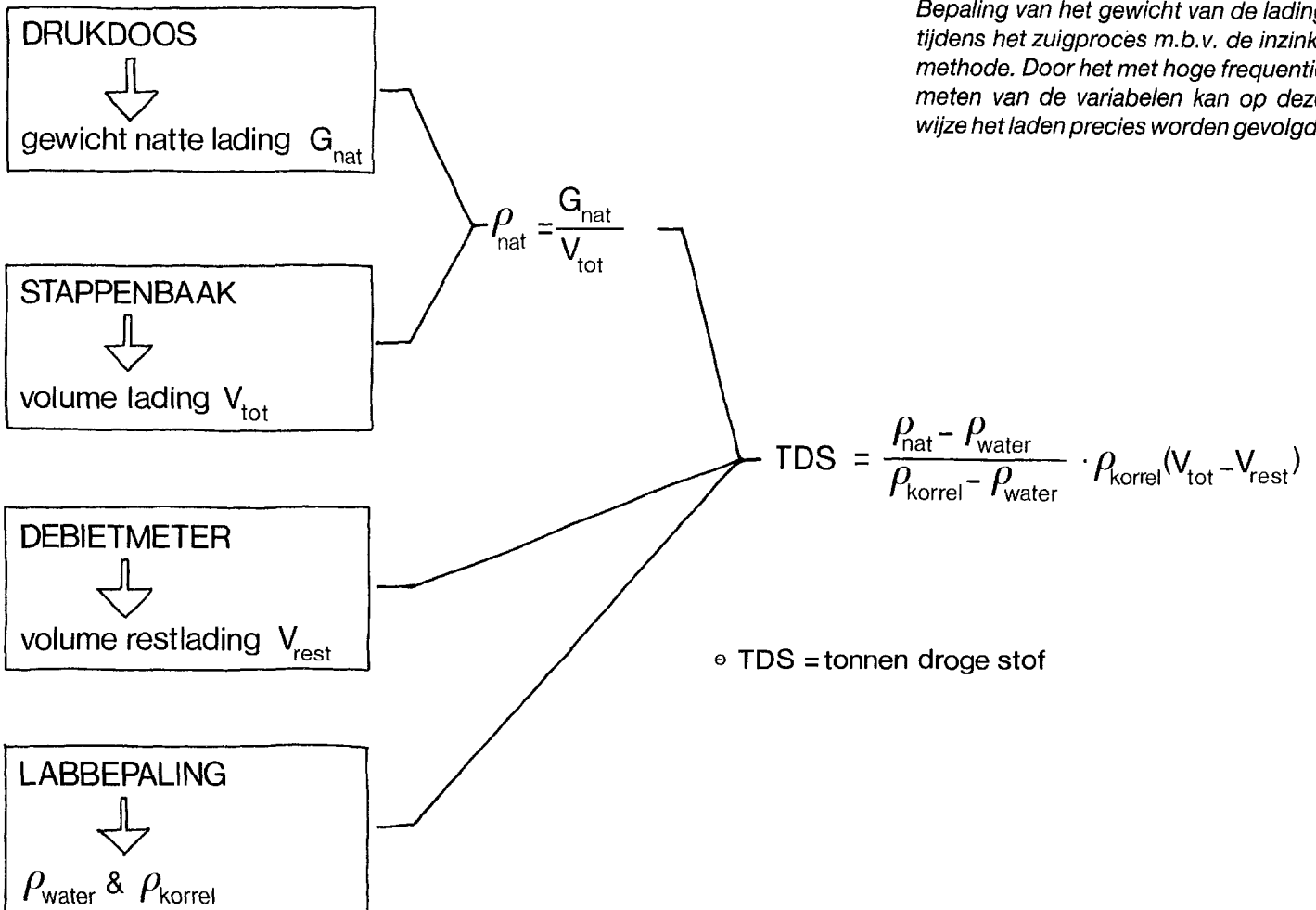
dig bepaald waarbij de waarden voor de soortelijke massa van het water en de deeltjes in het beun per gebied proefondervindelijk vastgesteld worden.

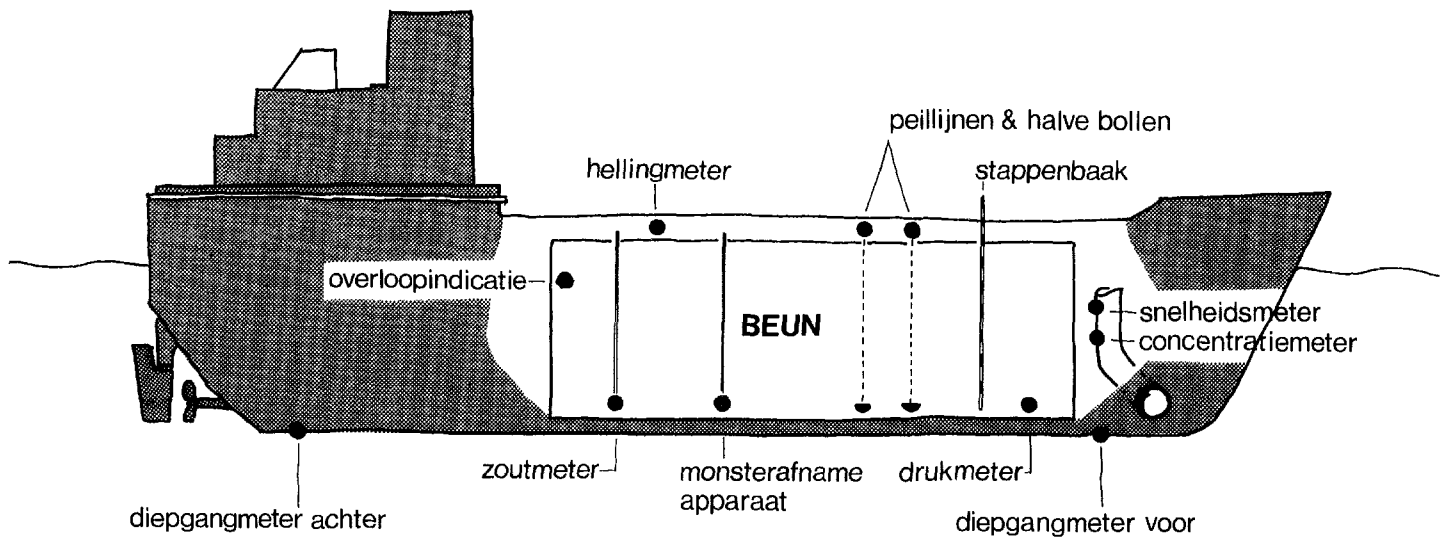
De inzinkmethode is gebaseerd op metingen in het beun nl. de bepaling van het gewicht en volume van de lading. Het gewicht wordt bepaald uit het verschil tussen de gemiddelde inzinking van het schip bij begin (leeg schip) en einde (vol schip) van het zuigproces. Het volume van de lading wordt bepaald door het niveau voor en na het laden in het beun te meten.

De gemiddelde inzinking wordt bepaald door de diepgangen voor en achter te meten met twee drukopnemers in de bodem van het schip. Deze zijn een maat voor de waterverplaatsing.

Het verband tussen diepgang en waterverplaatsing is vastgelegd in het Carènediagram. Door de actuele waterverplaatsing te verminderen met de waterverplaatsing bij een leeg beun kan het totale ladinggewicht worden vastgesteld. Tijdens het ijken van de meetopnemers is gebleken, dat in deze situatie het Carène-diagram niet bruikbaar is voor verdere bewerkingen. In een ijkdiagram is daarna het directe verband tussen de gemiddelde diepgang gemeten in volts met de drukdozen en het totale

Bepaling van het gewicht van de lading tijdens het zuigproces m.b.v. de inzinkmethode. Door het met hoge frequentie meten van de variabelen kan op deze wijze het laden precies worden gevolgd.

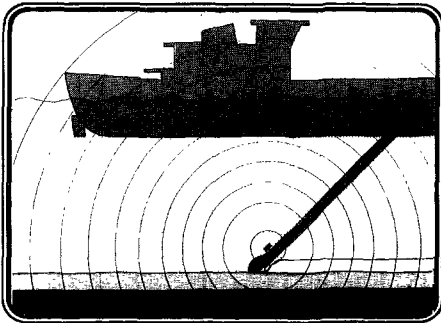




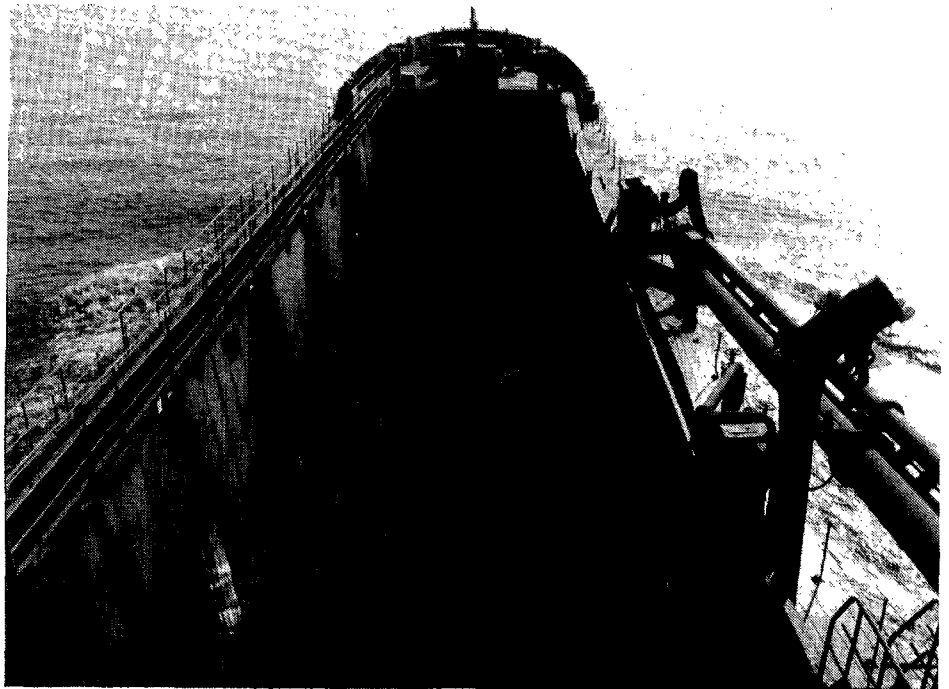
De situatie van de meetinstrumenten op een sleepopper tijdens proefnemingen met het beunmeetsysteem.

ladinggewicht in tonnen vastgelegd. De variaties in de soortelijke massa van het buitenwater hebben geen invloed van betekenis op de diepgang (druk) in volts, omdat i.p.v. de hoogte van de waterkolom het gewicht van de waterkolom gemeten wordt.

Gestuurd Baggeren



Een van de belangrijkste instrumenten voor de baggerbaas is de produktiemeter, d.i. een combinatie van twee meters nl. een concentratiemeter en een snelheidsmeter. Het produkt van concentratie en snelheid, beide gemeten in de pijp, geeft immers de produktie. De concentratiemeter is in het algemeen een instrument met een radioactieve bron. In verband met het risico van

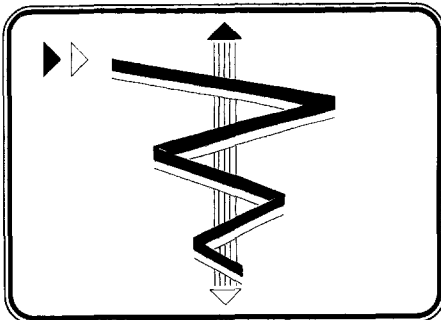
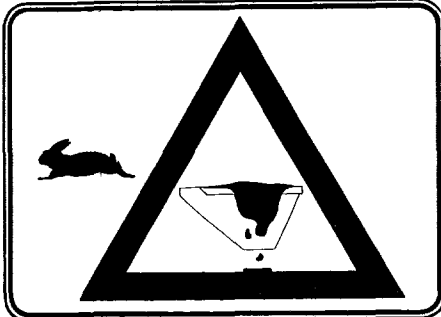
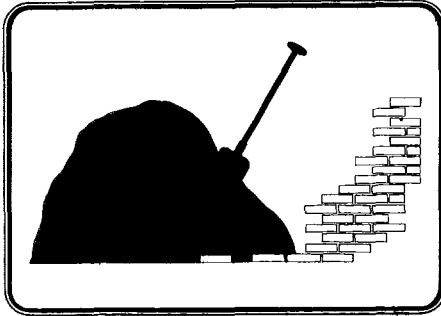
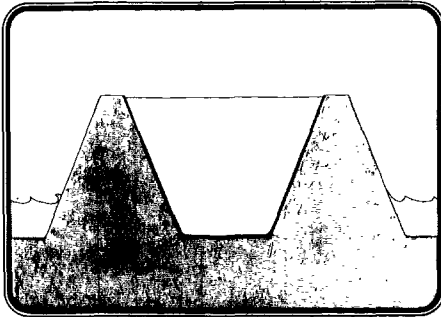
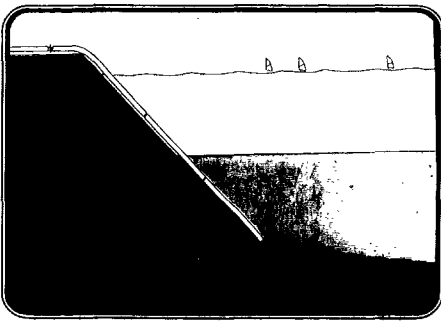


Het beun van een sleepopperzuiger.

verlies staat de meter dan ook ergens aan boord en niet op de pijp. Hierdoor loopt de aanwijzing op de produktiemeters altijd in fase achter bij de situatie aan de zuigmond. Dit kan wel oplopen tot een verschil van meer dan 60 seconden. Optimaal bijsturen is dan niet meer mogelijk, reden waarom gepoogd is in het project "Gestuurd Baggeren" een indicatie van de dichtheid op een vroeger tijdstip te krijgen, d.m.v. het plaatsen van een viscorsteitsmeter op de pijp in de buurt van de zuigkop.

Zowel MKO en IHC hadden destijds belang in een dergelijke studie. Dit heeft geleid tot een samenwerkingsovereenkomst.

De conclusie van het onderzoek was dat het signaal ongeschikt is om als stuursignaal te dienen teneinde het baggerproces te optimaliseren. Een eenduidige verklaring van de afwijkingen t.o.v. het verwachte beeld is niet voorhanden en is niet in extenso onderzocht.



7. BERGING VAN BAGGER-SPECIE IN HET RIJNMONDGEBIED

Het meest tot de verbeelding sprekende project in relatie tot het bergen van baggerspecie op land is ongetwijfeld het Slufterproject. Deze bergingslocatie die nu zijn voltooiing nadert is mede tot stand gekomen door een MKO-prefeasability studie. Ook andere aspecten van het bergingsprobleem zijn uitvoerig bestudeerd. Genoemd kunnen worden het bergen van specie in het Oostvoornse Meer (is technisch mogelijk, politiek niet haalbaar), hergebruik specie (klei is toepasbaar voor dijken, keramische verwerking blijkt te duur), verontreinigingsbeheersing (bekleding locatie met veen geeft een goede afscherming van de verontreinigingen, bezinkbassins leveren aanzienlijke reductie van verontreinigingen) en hydrocyclonage (afscheiding van verontreinigd deel is technisch goed mogelijk maar geeft geen extra bergingsruimte in de loswal, omdat de consolidatie-eigenschappen verslechteren). Het opslaan op land, zoals de Slufter, is het meest rendabel.

Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de betrokkenheid weergegeven van het MKO-project met de ontwikkelingen van baggerspeciebergiging in het Rijnmondgebied.

De berging van baggerspecie vormde in het verleden geen enkel probleem.

Het was gebruikelijk om laaggelegen polders op te hogen met het slib dat afkomstig was uit havens en vaarwegen. Ook de berging in zee leverde geen bezwaar.

In de jaren zeventig ontstonden problemen ten aanzien van de berging van slib als gevolg van de toenemende mate van verontreiniging van het water in de rivieren en van het sediment. Het bleek op grond van milieuhygiënische overwegingen niet langer verantwoord de onderhoudsbaggerspecie zonder meer op land en/of in zee te bergen.

Een groot aantal studies o.m. in MKO-verband is verricht en ook thans vindt uitgebreid onderzoek plaats met het doel afdoende oplossingen te vinden voor het probleem van de baggerspeciebergiging.

Op dit moment is de berging van slib uit havens en vaarwegen volledig gebonden aan beleidsmatige afspraken en wettelijke regels en voorschriften.

Nationaal beleid en wetgeving

De berging van verontreinigde bagger-

specie valt binnen de kaders van het door de nationale overheid geformuleerde milieubeleid en het provinciale/gemeentelijke beleid op het gebied van de planologie.

Het overheidsbeleid ten aanzien van het milieu is gebaseerd op een aantal beleidsnota's die jaarlijks aan de ontwikkelingen en de inzichten worden aangepast. De belangrijkste beleidsnota's met betrekking tot de baggerspeciebergiging zijn het Indicatief Meerjaren Programma Milieubeheer (ter voorbereiding van een nationaal milieubeleidsplan dat in 1987 zal verschijnen), het Rijkswaterkwaliteitsplan en het Waterkwaliteitsplan Noordzee.

Ten behoeve van de toepassing en de controle op de naleving van de beleidsvoorschriften op het gebied van het milieu is een reeks wetten ingevoerd waarvan de belangrijkste in dit verband zijn:

- de Wet Verontreiniging Zeewater (WVZ);
- de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO);
- de Wet Afvalstoffen (WA);
- de Wet Chemische Afvalstoffen (WCA);
- de Hinderwet (HW).

De gelijkkluidende milieubepalingen van genoemde wetten zijn, naast andere voorschriften, samengebracht in de Wet Algemene Bepalingen Milieuhygiëne (WABMIL).

Formulering van het beleid

Nadat in de zeventiger jaren was geconstateerd dat de berging van baggerspecie een specifieke milieutechnische en milieuhygiënische aanpak vereiste, werd in 1975 een stuurgroep benoemd en deze kreeg de opdracht een beleid te ontwikkelen voor de baggerbergiging. In 1982 werd het definitieve resultaat van het onderzoek van deze groep gepubliceerd (Stuurgroep Berging Baggerspecie; "Beleidsplan voor de verwerking van baggerspecie uit havens en vaarwegen in het benedenrivierengebied"). Bij de opstelling van het "Beleidsplan" waren betrokken de rijksoverheid, de provinciale en de regionale overheid en de gemeente Rotterdam. Het "Beleidsplan" is mede gebaseerd op gegevens van onderzoek naar de mogelijke milieuhygiënische effecten van de berging van baggerspecie (Milieueffectrapport berging baggerspecie, Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne; 1979 (Interimbeleid milieueffectrapportage)).

De essenties van dit beleid en stand van zaken ten aanzien van de realisering zijn hieronder weergegeven.

Beleidsplan 1982

Bij de formulering van het beleid voor de berging van baggerspecie ("Beleidsplan"; 1982) is onderscheid gemaakt tussen de verschillende voorkomende kwaliteiten slib in het gebied. In het westelijke deel van het benedenrivierengebied is de specie licht verontreinigd doordat hier vrijwel uitsluitend marien sediment wordt aangevoerd. De kwaliteit neemt in oostelijke richting af als gevolg van de steeds geringer wordende hoeveelheid sedimenterende zeeslib. In het oostelijke gebied bevindt zich vrijwel uitsluitend fluviatiel sediment dat sterker verontreinigd is.

In het gehele gebied zijn in totaal vier verschillende kwaliteitsklassen baggerspecie gelokaliseerd. De vierde klasse-slib bestaat uit lokaal ernstig verontreinigd slib, veroorzaakt door lozingen en/of activiteiten ter plaatse.

Gelet op de kwaliteitsverschillen is een beleid opgesteld voor de korte termijn, voor de middellange en de lange termijn.

Korte termijn-beleid

Baggerspecie van kwaliteitsklasse 1 zal, gezien de slechts geringe graad van verontreiniging, ook in een verdere toekomst in zee geborgen kunnen worden. De gebruikelijke stortingen op zee van klasse 2 en 3-specie zullen geleidelijk gesaneerd moeten worden. Voor de berging van deze specie is een aantal kleinere reeds in gebruik zijnde en/of nieuwe landloswallen aanbevolen. Verder worden plassen en ontzandingsputten langs rivieren als bergingsmogelijkheden voorgesteld.

Klasse 4-specie zal als gevolg van sanering van de industriële lozingen in de zeer nabije toekomst niet meer kunnen ontstaan. Voor de berging van bestaande klasse 4-specie zullen specifieke oplossingen gezocht moeten worden.

Realisatie korte termijn

Voor de berging van klasse 1-specie is de vereiste vergunning verleend. Zee-stortingen van klasse 2 en 3-slib zijn per 1-1-1985 niet meer toegestaan. Ten aanzien van de bergingscapaciteit op land, in plassen en in putten moest tenslotte worden geconcludeerd dat deze bergingsmogelijkheden niet te realiseren waren. De betrokken gemeenten verzetten zich tegen speciebergings op hun gebied, zodat ook de vereiste vergunningen niet konden worden verkregen. Slechts een zeer geringe hoeveelheid baggerspecie kon op reeds be-

staande loswallen worden geborgen. Door bovengenoemde ontwikkelingen dreigde het onderhoudsbaggerwerk in het havengebied te stagneren. Er was onvoldoende bergingscapaciteit aanwezig. Een andere oplossing dan in het 'Beleidsplan' was voorgesteld voor het slib van klasse 2/3 bleek op korte termijn noodzakelijk. Besloten werd tot de aanleg van een groot tijdelijk depot (de 'Overbruggingslocatie') op de Maasvlakte. De capaciteit van het depot dient toereikend te zijn tot medio 1987. Daarna zal de berging worden geleidigd en ontmanteld. Sinds februari 1985 wordt baggerspecie van de klassen 2 en 3 in dit depot geborgen.

Middellange termijnbeleid (van 1987 tot ca 2002)

Voor de berging op middellange termijn van specie van kwaliteitsklasse 2/3 is een grootschalige bergingslocatie voorgesteld met een capaciteit van 100 à 150 miljoen m³, voldoende voor een periode van 10 à 15 jaar. Deze locatie zou aan de kust, ten zuidwesten van de Maasvlakte moeten worden aangelegd, of in de vorm van een eiland, gesitueerd in de monding van het Haringvliet. De aanwijzing van deze twee mogelijke locaties was gebaseerd op resultaten van vooronderzoek.

Klasse 4-specie dient door verdergaande saneringsmaatregelen niet meer voor te komen.

Realisatie middellange termijn

Na uitgebreid onderzoek naar alle aspecten van een grootschalig bergingsdepot is besloten tot de aanleg van een depot aan de kust, ten zuidwesten van de Maasvlakte. In mei 1986 zijn de werkzaamheden gestart en volgens de planning zal medio 1987 de eerste baggerspecie in dit nieuwe depot kunnen worden geborgen. Ook zal dan de specie uit de tijdelijke berging naar de nieuwe locatie worden overgebracht. Volgens de berekeningen biedt de grootschalige locatie voldoende bergingscapaciteit tot het jaar 2002. Inmiddels zullen de pogingen om verdergaande sanering van produktieafvalstromen te bereiken worden voortgezet.

Lange termijn beleid (vanaf ca 2002)

Voor de lange termijn is in het 'Beleidsplan' geen nauwkeurig omschreven beleid geformuleerd. Wel is een aantal aanbevelingen gedaan, waarvan de belangrijkste zijn:

- verder onderzoek naar eigenschap-

pen, gedrag, verspreiding en samenstelling van baggerspecie en naar de (eco-(toxico)logische) dosis-effectrelaties;

- onderzoek naar de mogelijkheid de sedimentatie in havens en vaarwegen te beperken;
- bevordering van nuttig gebruik van baggerspecie;
- streven naar vaststelling van streefwaarden voor de kwaliteit van grondwater, bodem en zeewater;
- streven naar voortgaande sanering van nationale en internationale lozingen van afvalwater op het oppervlaktewater.

Realisatie lange termijn

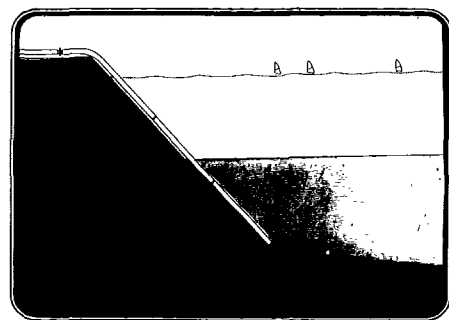
De hierboven genoemde aanbevelingen worden gevolgd, hetgeen in hoofdzaak betekent dat een reeks onderzoeken is gestart respectievelijk uitgevoerd ten behoeve van de realisering van de aangegeven beleidslijn.

Betrokkenheid MKO-project

In verschillende tijdsstadia werden studies verricht in het belang van de baggerspeciebergings. Totaal werden 5 projecten uitgewerkt t.w.:

- Speciebergings op en aan zee 1980;
- Oostvoornse Meer 1981;
- Hergebruik 1984;
- Verontreinigingsbeheersing 1986;
- Hydrocyclonage 1986.

Bergen van baggerslib in meren



De MKO-werkgroep "Bergen in meren" heeft het effect van storten/bergen van baggerspecie in een meer bestudeerd en heeft na een inleidende studie het Waterloopkundig Laboratorium te Delft en het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (Haren, Groningen) opgedragen, deze waterkwaliteitsaspecten, in een meer te onderzoeken.

Als "case study" werd het Oostvoornse Meer gekozen. Dit meer ontstond toen de rivier "Het Brielse Gat" werd afgedamd en een gebied voor de Nederlandse kust werd opgespoten om tege-

moet te komen aan de industriële ontwikkeling. Het zand voor deze opspuiting werd gewonnen uit het Oostvoornse Meer. Daarom is het meer op sommige plaatsen heel diep, soms meer dan 40 meter. De gemiddelde diepte bedraagt 21,50 m tov NAP. Het totale volume van het meer is 47 miljoen m³, de oppervlakte bedraagt 2,75 km². De bodem en taluds bestaan voornamelijk uit zand, hoewel er ook slib wordt aangetroffen in diepe putten in de bodem.

Onderzoeksprogramma

De volgende processen zijn in het kader van het milieu belangrijk:

- menging. Dit is van belang voor alle fasen vanaf baggeren en transporteren tot en met storten in het meer;
- sedimentatie en erosie. De hoeveelheid sedimentdeeltjes in het oppervlaktewater van het meer is heel belangrijk, niet alleen omdat de graad van vertroebeling een heel belangrijke parameter voor de waterkwaliteit is, maar ook omdat de meeste verontreinigingen zijn gebonden aan de deeltjes;
- consolidatie van het op de bodem gestorte materiaal. Dit proces beïnvloedt de waterkwaliteit het meest. Door consolidatie wordt het poriënwater onder druk uit het bodemslib in het oppervlaktewater geperst. Het poriënwater heeft hoge concentraties van verscheidene reducerende stoffen, nutriënten en andere verontreinigingen en dat beïnvloedt dus in negatieve zin de kwaliteit van het oppervlaktewater;
- fysische en chemische reacties in het poriënwater. Zowel gedurende het transport als tijdens en na het storten zorgen deze voor een wisselende samenstelling van het poriënwater maar ook nadat het door consolidatie is uitgedreven en vermengd met het bovenliggende water zullen vele chemische veranderingen plaatsvinden.

Om een beter inzicht te krijgen in de processen, vond een proefstorting in de 8e Petroleumhaven plaats. De bodem ligt daar op ca. NAP – 20 meter.

In deze haven werden drie putten gebaggerd, waarin slib met verschillende verontreinigingsniveaus afkomstig uit Waalhaven resp. Botlekavens en Maasmond werd gestort.

Om te beginnen werd de kwaliteit van slib en poriënwater in deze havens bepaald. Deze werd opnieuw bepaald direct na de proefstorting en op specifieke tijdstippen na het storten. Voorts

werd gedurende het storten de vertroebeling gemeten, en de concentratie aan verontreinigingen en nutriënten en opgelost in het oppervlaktewater. De volgende stoffen zijn onderzocht: chloride, nutriënten, zware metalen, zuurstofverzadiging, organische microverontreiniging en bacteriën. De resultaten van deze meetgegevens werden gebruikt voor de berekening van de volgende grootheden:

- debiet uitgedreven poriënwater inclusief verontreinigingen na het storten;
- concentraties opgeloste stoffen in het water van het meer tijdens en na storten;
- vertroebeling tijdens en na het storten.

Onderzoekresultaten

Tijdens het baggeren vinden een aantal chemische reacties plaats ten gevolge van de menging van zuurstofrijk oppervlaktewater met zuurstofarm slib en ook na het storten vinden vele reacties plaats met als gevolg een wijziging in de concentraties van stoffen in het poriënwater.

Schematisch worden de reductiepro-

Tabel 2. Aard van de (bio)chemische processen in het sediment-poriënwatersysteem.

(bio)chemische processen	resultaat door reductie zuurstofhoudende componenten	resultaat door oxidatie van de organische stof
1. aërobe afbraak door aërobe bacteriën	zuurstofloosheid van het poriënwater	vorming CO ₂ ; pH- en redoxpotentiaalverlaging; vorming NH ₄ en O-PO ₄ ;
2. denitrificatie door nitraatreducerende bacteriën	vorming stikstofgas	oplossen van de met de organische stof gecomplexeerde metalen
3. ijzer en mangaanreductie	oplossen Fe ²⁺ en Mn ²⁺ en van met het Fe ³⁺ en Mn ⁴⁺ gecomplexeerde metalen in het poriënwater	
4. sulfaatreductie door sulfaatreducerende bacteriën	vorming zwavelwaterstofgas; metaalhydroxiden worden omgezet in sulfiden	idem als onder 1, 2 en 3; opgeloste metalen worden echter direct omgezet in slecht oplosbare metaal sulfiden
5. reductie CO ₂ door methaanvormende bacteriën	vorming methaangas	vorming NH ₄ en O-PO ₄

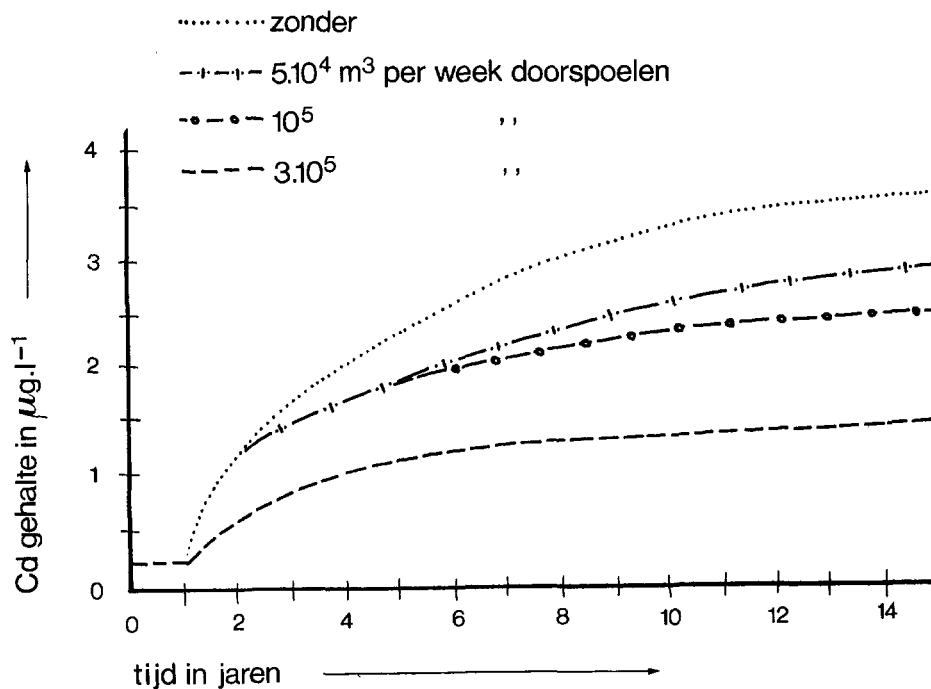
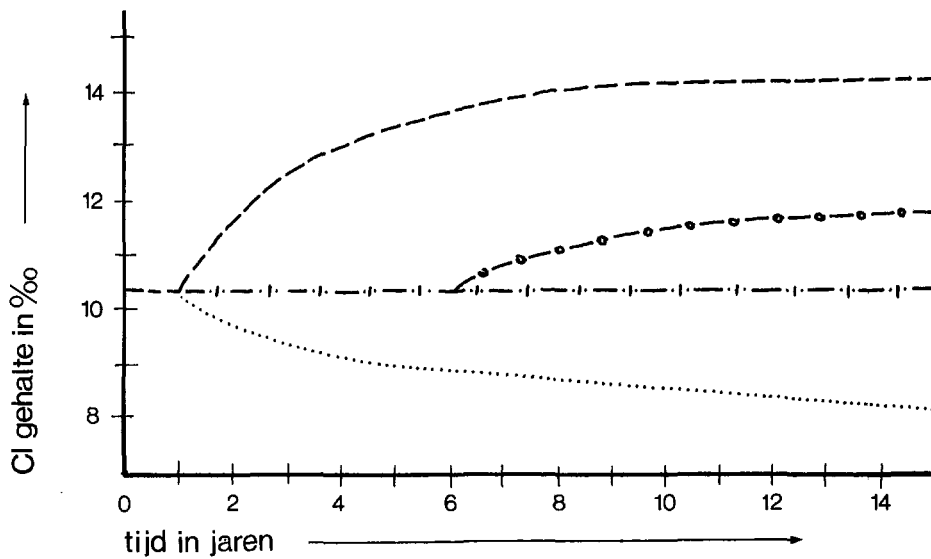
cessen na het storten weergegeven in tabel 2.

Tijdens het storten wordt veel van het poriënwater uitgedreven, de concentraties aan verontreinigingen zijn echter tamelijk laag. Hierna neemt de consolidatiegraad, en daarmee de hoeveelheid uitgedreven poriënwater, af en nemen de concentraties van verscheidene verontreinigingen toe.

De invloed van deze uitgedreven stoffen op de waterkwaliteit van het meer is eenvoudig te bepalen voor die stoffen die niet fysisch of chemisch veranderen nadat ze zijn uitgedreven, de zogenaamde conservatieve stoffen, zoals chloride.

Voor die stoffen die niet conservatief zijn werd met behulp van het computerprogramma "Charon" de verdere chemische omzettingen van een aantal stoffen gesimuleerd.

Hieruit bleek dat tijdens het storten in de winterperiode de kwaliteit van het meerwater verslechtert, maar dat iedere zomerperiode weer een herstelperiode optreedt. Voor de mate van vertroebeling van het meer speelt met name de wind een belangrijke rol. Onder gemiddelde omstandigheden is het water zeer helder maar met het ondieper worden van het meer kan het slib makkelijker door golven tijdens storm opgewoeld worden.



Praktische maatregelen

Uit het bovenstaande blijkt dat de waterkwaliteit van het meer achteruit zal gaan. Daarom heeft de groep bestudeerd welke maatregelen mogelijk zijn om de waterkwaliteit te verbeteren. De eerste maatregel is om alleen gedurende de winterperiode te storten. Alle berekeningen zijn gebaseerd op dat principe. Er zijn echter nog meer maatregelen die kunnen worden aanbevolen.

De vertroebeling is minimaal wanneer de baggerspecie onder het wateroppervlak wordt gestort met een "submerged diffusor" of zogenaamde breedbekpijp. Daarnaast is de hoeveelheid suppletiewater tijdens het baggeren van belang. Er zijn twee redenen om zo weinig mogelijk suppletiewater te gebruiken. Ten eerste omdat dit water zelf niet schoon is, ten tweede omdat bij minder suppletiewater er ook minder poriënwater wordt uitgedreven tijdens de consolidatie.

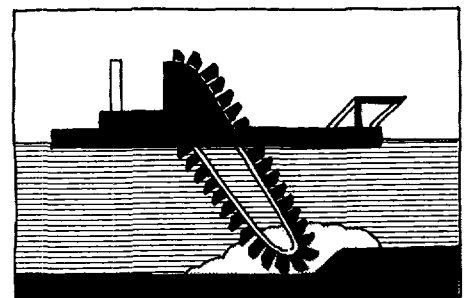
De invloed van extra doorspoeling met zeewater op het zoutgehalte en het cadmiumgehalte in het meer. Het is van belang om het zoutgehalte hoog en het cadmiumgehalte laag te houden. Door middel van periodieke bemonstering kan het gewenste doorspoeldebiet bepaald worden.

Een volgende maatregel is doorspoelen. Om plaats te maken voor de baggerspecie zal een deel van het water uit het meer moeten worden gepompt. Het is eenvoudig om deze te verpompen hoeveelheid te vergroten en daarmee een deel van het meerwater te vervangen door schoon zeewater. Dit is de meest effectieve manier om de waterkwaliteit in het meer te beheersen. Eventueel kan het retourwater gezuiverd worden voor het geloosd wordt in de Noordzee. Niet alleen worden op deze manier verontreinigingen verwijderd, maar er is ook een tweede positief effect, n.l. toevoeging van extra zuur-

stof. Hierdoor wordt de afbraak van organisch materiaal bevorderd en het gevaar van zuurstofgebrek vermindert. Verder zal het zoutgehalte hierdoor toenemen hetgeen belangrijk is voor die organismen die leven in het meer en afhankelijk zijn van een hoog zoutgehalte in het water. Omdat verreweg de meeste baggerspecie afkomstig is van brak of zoet water, is het belangrijk om met zout water door te spoelen, om het zoutgehalte op het gewenste niveau te houden.

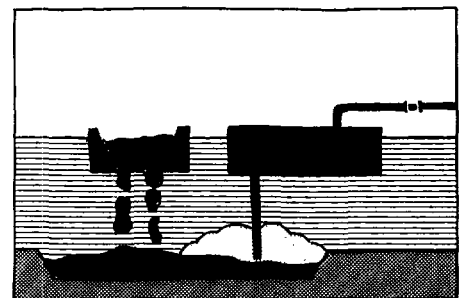
Vervolgens moet bepaald worden wat de beste uiteindelijke diepte van het meer is. Berekeningen hebben aangegevoerd dat een diepte van 5 meter acceptabel is. Het effect van een grotere diepte is gering. En dan spelen ook andere overwegingen een rol, zoals het bodemleven (benthos) en duikende watervogels. Met het oog op deze eisen blijkt een waterdiepte van 5 m optimaal. Tenslotte moet nog de totale periode bepaald worden waarin het meer wordt volgestort. Als dit plaatsvindt gedurende een periode van bijvoorbeeld 7 jaar, zullen de problemen worden beperkt tot die periode, maar de waterkwaliteit gaat in die periode fors achteruit. Opvullen over een langere periode

Overzicht van de praktische maatregelen om de waterkwaliteit in het meer te beheersen.



Baggeren

- . weinig verdunningswater;
- . hoge mengseldichtheid.



Transport

- . hoge mengseldichtheid;
- . tijdelijke opslag, bufferput;
- . weinig verdunningswater.

van b.v. 25 jaar, handhaaft ook tijdens deze 25 jaar een betere waterkwaliteit.

Conclusies

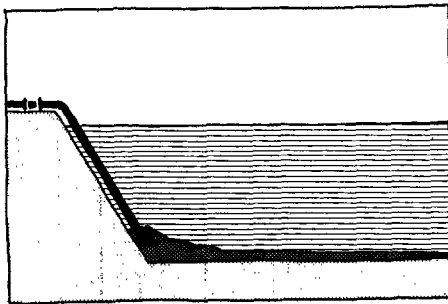
Door het storten van baggerspecie in een meer zal de kwaliteit van het water afnemen. De meeste parameters bereiken de ongunstigste concentratie gedurende het laatste jaar van de storting. Verwacht wordt echter dat de kwaliteit van het meerwater nooit zo slecht zal worden dat er problemen zullen ontstaan m.b.t. de zuurstofhuishouding, algengroei en pH.

Een voordeel van het storten in meren is dat men continu de waterkwaliteit kan controleren en beoordelen. De maatregelen om de waterkwaliteit te beheersen zijn eenvoudig.

Hoewel dit project niet is gerealiseerd, heeft deze studie toch een bijdrage geleverd aan de kennis van de processen welke een rol spelen op het scheidingsvlak tussen onderwaterbodem en bovendaand water.

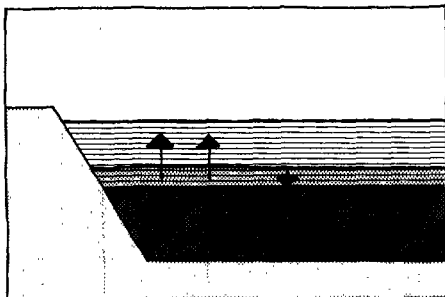
Speciebergings op en aan zee

In MKO-verband zijn de mogelijkheden bestudeerd om een loswal voor baggerspecie op zee of aan de kust aan te leg-



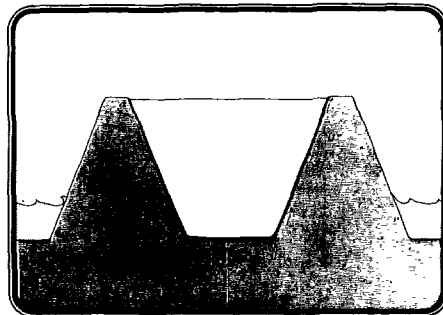
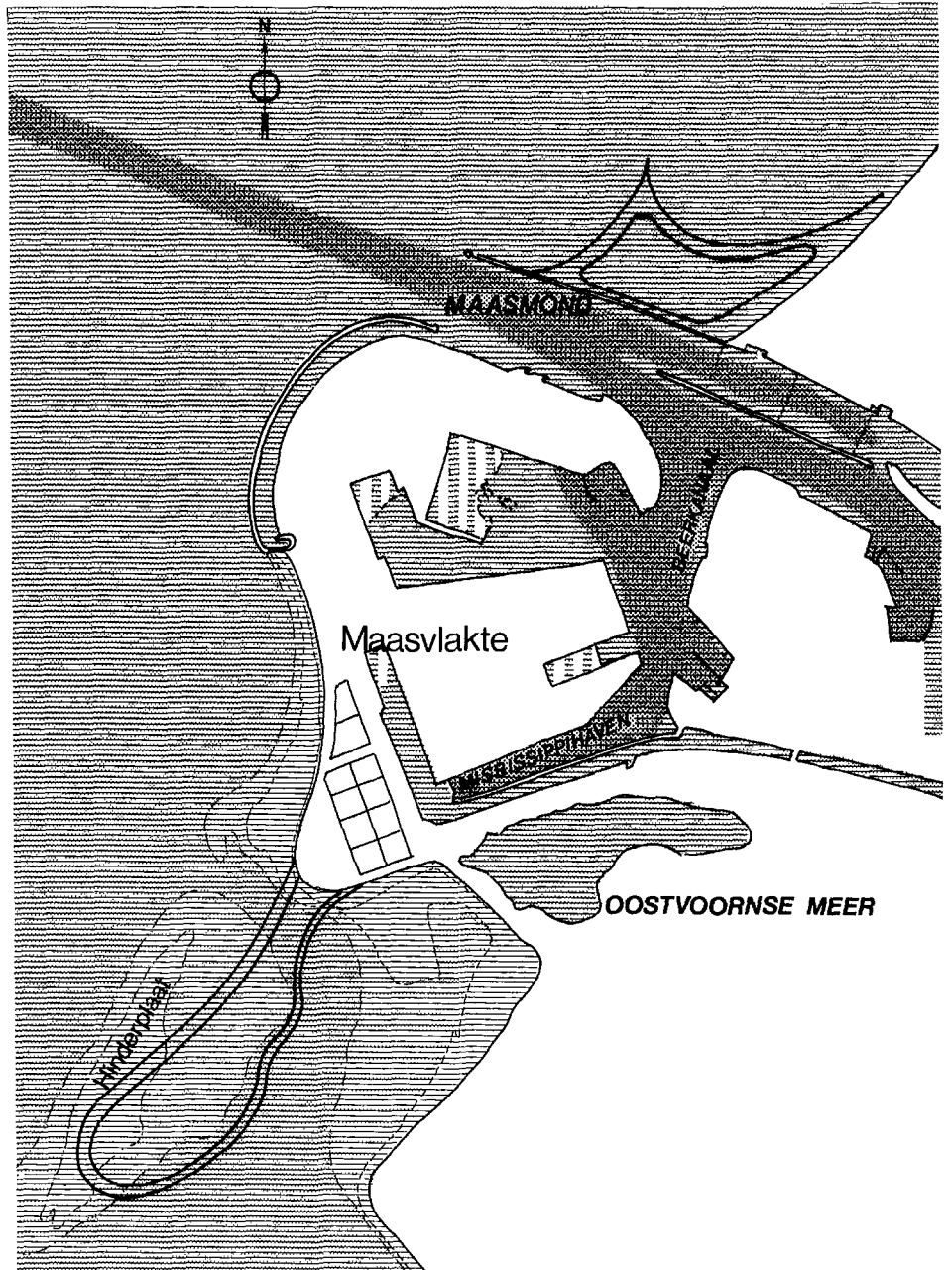
Storten

- . storten onder water;
- . lage uitstroomsnelheid mengsel;
- . hoge mengseldichtheid;
- . doorspoelen met schoon zeewater;
- . stortperiode beperken tot winterperiode;
- . tempo storten aanpassen.



Na het storten

- . waterkwaliteitcontrole;
- . doorspoelen met schoon zeewater;
- . uiteindelijke waterdiepte.



De eerste ontwerpen voor de berging van baggerspecie voor de kust.

gen. Hiermee zou de verspreiding van slib en dus van verontreinigingen beperkt blijven en beheersbaar zijn, en zo zou dit voor langere tijd een oplossing moeten bieden voor de bergingsproblematiek.

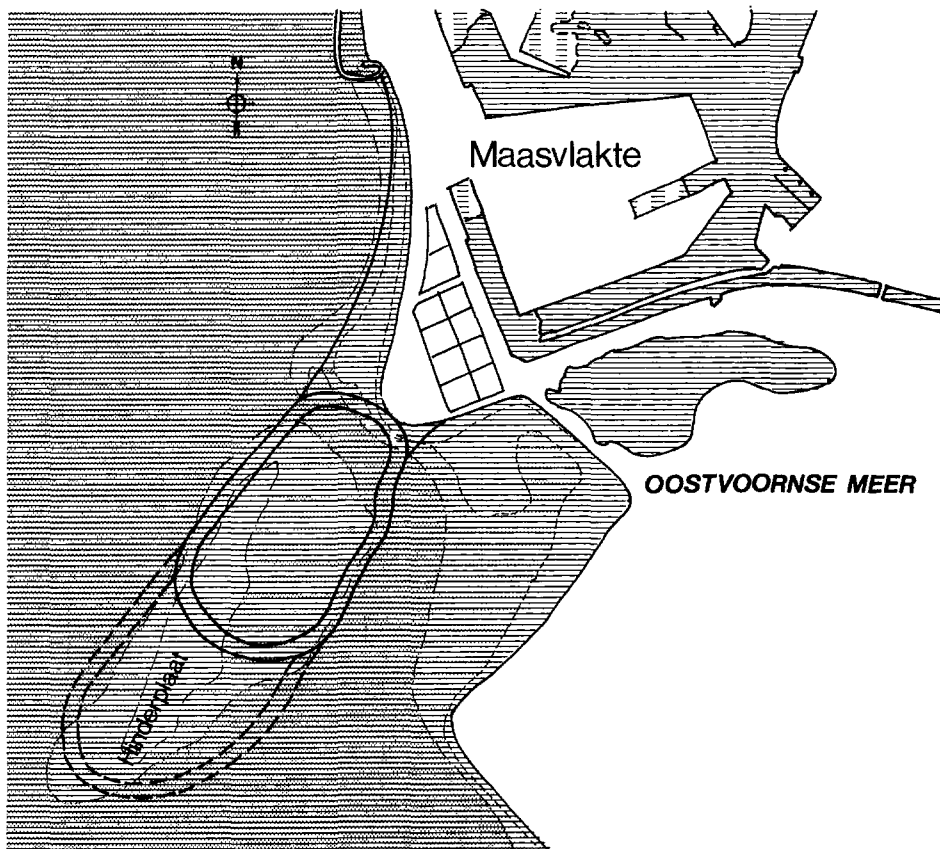
Naast een onderzoek naar de technische realiseerbaarheid van alternatieve bergingsmogelijkheden werd tevens het kostenaspect in beschouwing genomen. Verder werd enige aandacht besteed aan milieutechnische zaken zoals de vraag in hoeverre verontreini-

gingen buiten de loswal terecht zouden kunnen komen.

Een aantal alternatieve bergingsmogelijkheden op of aan zee zijn vergeleken. Hieruit bleek dat de aanleg van een loswal op zee een aantal malen duurder zou zijn dan een loswal aan de kust door de grote aanlegdiepte en extra verdedigingsconstructies.

Bij vergelijking van de loswallen aan de kust bleek dat de loswal ten noorden van de havenmond (voor de kust van Delfland) een groot deel van de kuststrook in beslag neemt, terwijl de wenselijkheid en de toelaatbaarheid van een kustuitbreiding in dit gebied nog moet worden aangetoond.

Berging aan de kust ten zuiden van de havenmond biedt meer perspectieven, omdat dit een gebied is dat nog in ontwikkeling is. Het is geïsoleerd gelegen



De variant voor de berging van bagger-specie die door M.K.O. werd voorgesteld.

en sluit aan op reeds bestaande plannen zoals de vorming van een natuur- en recreatiegebied en de afsluiting van het Gat van Hawk.

Ook de aanlegkosten voor de verdergenoemde Slufterloswal zijn enkele malen lager dan voor een loswal achter de Noorderdam.

Op grond van deze bevindingen werd besloten om de technische en economische aspecten van dit plan nader uit te werken en de mogelijke gevolgen voor het milieu aan te geven.

Uitgaande van een eerste ontwerp van Gemeentewerken Rotterdam werden een aantal varianten bestudeerd. Hieruit werd geconcludeerd dat er voor alle hoeveelheden specie tussen de 5 en 20 miljoen m³ per jaar bergingsmogelijkheden voor langere termijn gerealiseerd kunnen worden (bergingsduur 10-30 jaar).

Om de aanlegkosten te verdelen werd de aanleg gefaseerd in de tijd gedacht. Bovendien zou dan reeds in de eerste fase een terrein ter beschikking komen. De technische problemen bleken oplosbaar. De aanlegkosten werden geraamd op 80 à 140 miljoen gulden. Er zijn voldoende mogelijkheden om ter plaatse en bij de havenaanleg op de Maasvlakte zand te betrekken voor de aanleg van de dammen. Een zwaar profiel van de dam aan de zeezijde is nood-

zakelijk ter beveiliging tegen afslag. Als veiligheids criterium werd voor de frequentie van de afslag op kruinhoogte de waarde 10⁻³ gehanteerd. Regelmatig terugkerend onderhoud moet de afslag van de zanddammen compenseren. Voor deze onderhoudskosten werd een bedrag van 1,5 miljoen gulden per jaar becijferd.

Naast aanleg en onderhoud van de zanddammen werden specietransport, consolidatie en inrichting van de loswal bestudeerd. In de studie werd ervan uitgegaan dat, eenmaal boven water gekomen, een optimaal consolidatie- en rijpingsproces op gang moest worden gebracht. Hiertoe moest de loswal door

tussendammen zijn verdeeld in een aantal compartimenten. Aldus kan tijdens het rijpen van een laag specie in het ene compartiment het opsputten in een ander compartiment doorgaan.

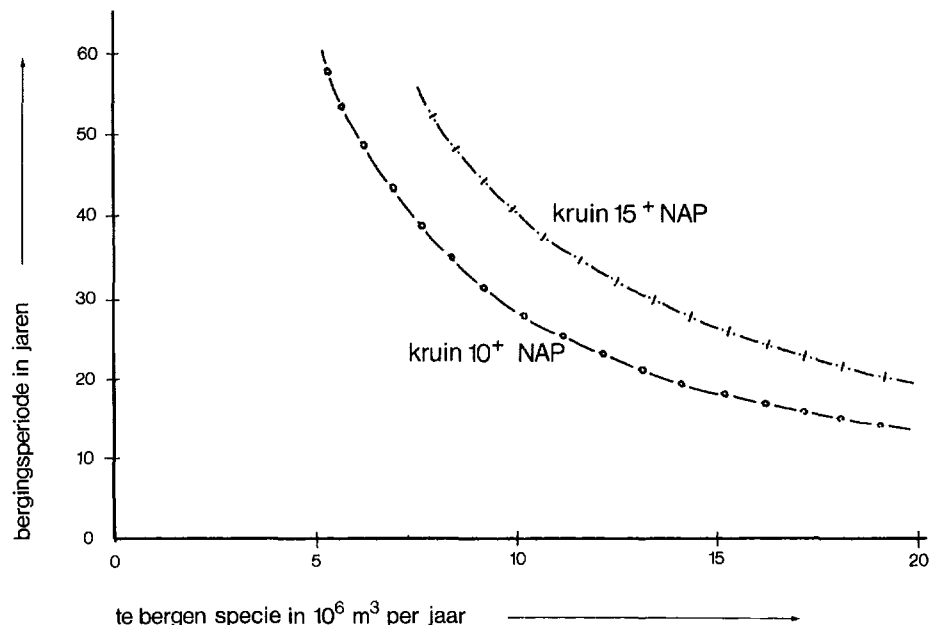
Bij de afvoer van het perswater moet worden gezorgd voor een extra lange bezinkingsperiode in de compartimenten alvorens het water te lozen. In latere studies werd het idee van compartimentering weer verlaten op grond van de benodigde ruimte en kosten van de compartimenteringsdammen.

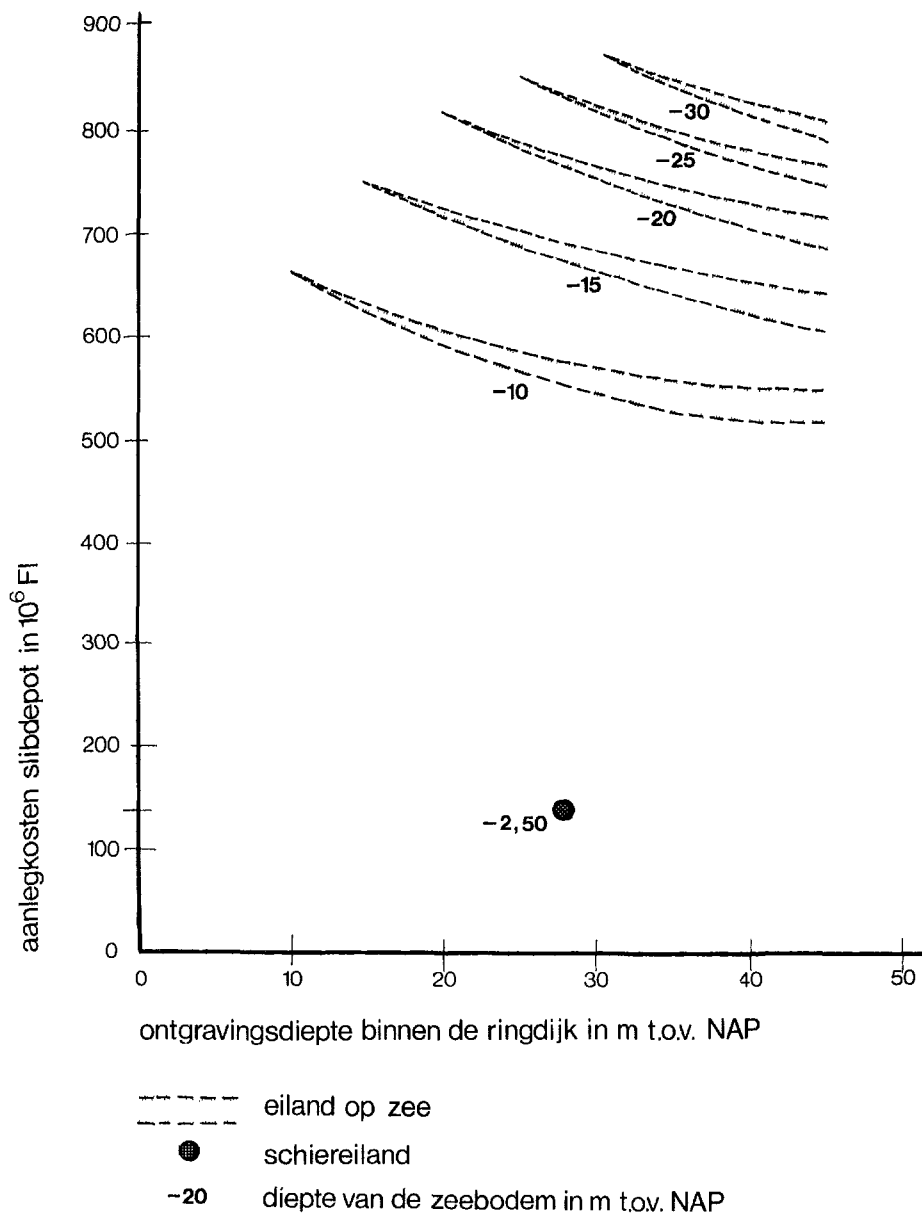
Ten aanzien van de inrichting in de eindfase werd gesteld dat een inrichting van dit terrein als natuur- en recreatiegebied het meest voor de hand ligt. Door de ligging aan zee lijkt een landschappelijke inrichting als duingebied voor de Slufterloswal het meest toepasselijk.

In een volgende fase van het ontwerp zal de inrichting en landschappelijke vormgeving van het gebied nader dienen te worden uitgewerkt. Het opgeleverde terrein is dermate groot dat er naast de recreatieve bestemming ook andere functies voor het terrein in overweging kunnen worden genomen.

In het oriënterende onderzoek naar milieuaspecten werd een emissieberekening uitgevoerd. Gesteld werd dat het aangeven van de hoeveelheid uittrekkende verontreinigende stoffen weliswaar niet als een schatting van de milieueffecten kon worden gezien maar dat toch uit deze berekeningen de voorlopige conclusie "lijkt aanvaardbaar" getrokken kon worden. De belasting van het Sluftergebied met zware metalen via het kwelwater is van gelijke orde van grootte als die via het regenwater. De

De bergingsperiode in een schiereiland is afhankelijk van de hoogte van de omsluitende dammen.

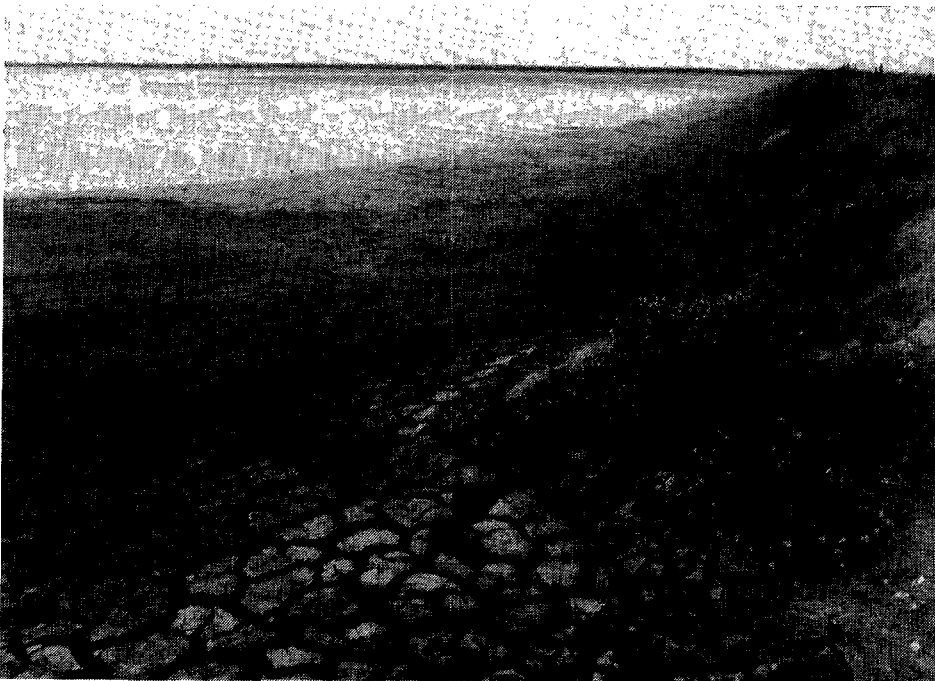




hoeveelheden die via het getijdgebiet worden aangevoerd zijn een factor 1.000 groter, ondanks de geringere gehalten in het zeewater. Gesteld kan worden dat minstens 98% van de zware metalen die via de aangevoerde specie in de Slufterloswal terecht komen, daar permanent vastgelegd blijven. Voor het mariene milieu als geheel treedt een aanzienlijke verbetering op wanneer specie in plaats van in zee, in de Slufterloswal wordt geborgen.

De eindconclusie van deze haalbaarheidsstudie was: technisch-economisch haalbaar, zo snel mogelijk de benodigde procedures starten. Het project werd hierna overgedragen aan de "Vorbereidingsgroep Slufter" onder leiding van het openbaar lichaam Rijnmond voor nadere uitwerking van de aspecten milieu, bestuurlijke en ruimtelijke inrichting, van de eerste fase van de grote variant van het plan. De civieltechnische aspecten (kustmorfologie, uitvoering, onderhoud van de zanddammen, slibberging en kosten) werden in MKO-verband verder uitgewerkt en la-

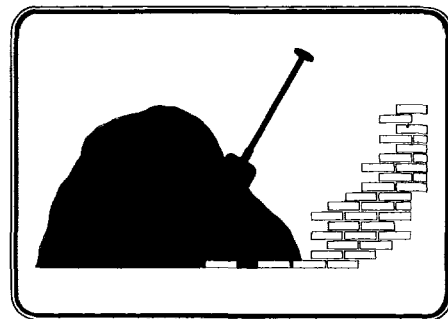
De kosten van slibberging in een eiland op zee t.o.v. de kosten van berging in een schiereiland voor de kust.



ter ingebracht in deze Vorbereidingsgroep.

Tenslotte heeft de projectgroep Groot-schalige Locatie Berging Baggerspecie een projectnota en Milieu Effect Rapportage over het Slufterdamproject geschreven. Na het doorlopen van alle wettelijke procedures werd het Slufterdamproject gerealiseerd in 1986-1987.

Hergebruik specie

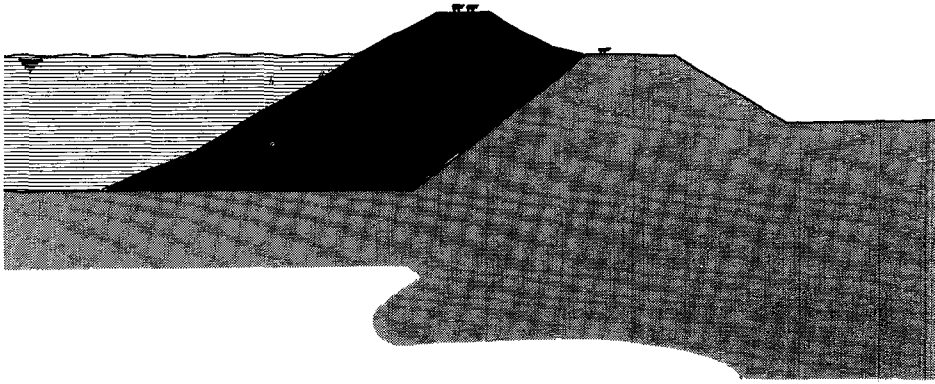


In het kader van het zoeken naar oplossingen voor het speciebergingsprobleem zijn tevens de mogelijkheden onderzocht van hergebruik. Het onderzoek heeft zich vooral gericht op de toepassing in de dijkbouw en de keramische toepassing. Daarnaast wordt reeds sinds jaar en dag gerijpte specie toegepast bij groenstroken.

Toepassing in de dijkbouw

Het programma voor de verbetering van de rivierdijken over een lengte van ca. 380 km vergt ca. 10 miljoen m³ klei. Uit een oriënterende studie bleek dat in principe in deze behoefte kan worden

Het droogvallen van een slibdepot van de kleifabriek.



voorzien door gerijpte baggerspecie uit de toegang tot Europoort

Hiertoe werd als proef de zogenaamde kleifabriek op de Maasvlakte ingericht met een productiecapaciteit van ca. 200.000 m³ Euroklei (klasse I) per jaar. Teneinde de verwachting in de praktijk te kunnen toetsen, werden proefvakken aangelegd bij de dijkverbetering te Streefkerk door het Hoogheemraadschap Groot-Alblasserwaard en aan de Nieuwe Waterweg te Hoek van Holland door het Waterschap Delfland. Bij Streefkerk werd een vergelijkend onderzoek verricht tussen een traditionele klei en Euroklei aangebracht zowel in de kern als in de bekledingslaag van de dijk, terwijl bij Delfland sprake is van een vergelijkend onderzoek tussen een traditionele klei en Euroklei aangebracht als bekledingsklei op een zandkern.

Door Grondmechanica Delft werd gerapporteerd dat in beide gevallen de toepassing van Euroklei met hetzelfde vertrouwen plaats kan vinden als een willekeurige andere (traditionele) klei. Voorts werd gesteld dat bij toepassing van Euroklei naast de reeds bekende eisen, vanwege met name erosie en begroeiingsaspecten, ook eisen moeten worden gesteld aan de mate van ontziltting evenals voor andere jonge mariene kleien.

De toepassingsmogelijkheden worden beperkt door het terughoudend beleid van VROM ter zake van die gebieden, waar geen sprake is van waterwinning of kwetsbaarheid uit het oogpunt van het wetsontwerp bodembescherming. Daarentegen is het beleid van V en W erop gericht om zoveel mogelijk gebruik te (doen) maken van Euroklei teneinde de ontgrondingen t.b.v. kleiwinning zo veel mogelijk te beperken. Om deze redenen wordt binnen Rijkswaterstaat een keuringsbewijs voor Euroklei voorbereid.

Keramische toepassing

In opdracht van MKO is door de Stich-

Toepassing van tot klei gerijpte baggerspecie als dijk verzwaring.

ting Doelmatige Technologie (SDT) een onderzoek verricht naar de keramische verwerkingsmogelijkheden van verontreinigde baggerspecie (klasse IV). Het onderzoek wordt uitgevoerd door het adviesbureau voor milieuonderzoek (CSO).

Aan de verwerkingsprocedure en de hiermee vervaardigde producten werden een viertal randvoorwaarden gesteld:

- . de uitstoot van milieukritische stoffen tijdens het verwerkingsproces moet kunnen voldoen aan strikte milieunormen;
- . de vervaardigde producten moeten voldoen aan eisen van milieuviligheid, d.w.z. de producten dienen schadelijke stoffen dusdanig te binden dat zowel op korte als op lange termijn geen schade

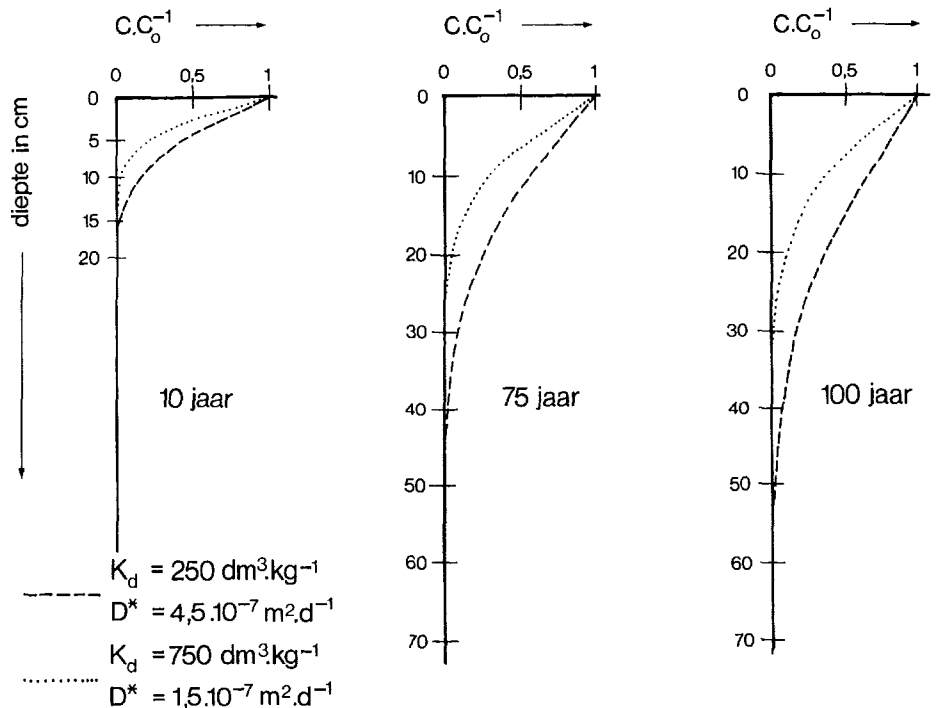
voor het milieu te vreezen valt;

. het toe te passen procédé dient financieel haalbaar te zijn eventueel met gebruikmaking van door de overheid beschikbaar te stellen subsidie, zoals bijvoorbeeld de stimuleringsgelden voor hergebruik van afvalstoffen;

. de potentiële afzetmarkt voor de producten moet dusdanig groot zijn, dat ten minste enige honderdduizenden m³ baggerspecie afgezet kunnen worden.

Als product werd kunstgrind gekozen, dat toepassing vindt als ophoog- en funderingsmateriaal en als toeslagstof voor constructief lichtbeton. De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat de keramische verwerking van verontreinigde baggerspecie (klasse IV) tot kunstgrind op milieutechnische acceptabele wijze mogelijk is. Onderzoek volgens gestandaardiseerde testen naar het uitlooggedrag toonden een zeer gunstig uitlooggedrag van deze producten aan. Voorwaarde hierbij is dat de producten oxiderend gebakken zijn en de sintertemperatuur minstens 1.100 graden bedraagt. De zware metalen worden door de keramische verwerking praktisch geheel geïmmobiliseerd, terwijl de organische verbindingen worden ontleed.

De fysische en mechanische eigenschappen van dergelijk kunstgrind laten toepassing hiervan in de wegenbouw als ophoog- en funderingsmateriaal zonder meer toe. Met enkele modificaties is het materiaal wellicht geschikt als



De concentratie van verontreinigingen na 1, 10 en 100 jaar in de omgeving van een baggersort.

Grond waarvan met een hoog organi-

sche stofgehalte kunnen als natuurlijk filter de verontreinigingen tegen houden.

toeslagstof voor constructief lichtbeton.

In producten vervaardigd uit verontreinigde baggerspecie zijn geen dioxines en dibenzofuranen aangetoond.

Ook keramisch kunstgrind vervaardigd uit mengsels baggerspecie en vliegaskan voldoen aan de eisen voor milieuveiligheid, mits de verwerkingstemperatuur 1.150 graden Celsius of hoger is.

Omdat tevoren gesteld was dat de produktontwikkeling door SDT in samenwerking met het bedrijfsleven diende te worden uitgevoerd, werd door haar contact gezocht met Kon. Wegenbouw Stevin (KWS), waarbij laatstgenoemde het procestechisch ontwerp en een globale exploitatieopzet verzorgd heeft. Een subsidieaanvraag door KWS voor de produktontwikkeling werd echter afgewezen, omdat ondanks kwantitatief voldoende afzetmogelijkheden de praktische toepassing onhaalbaar wordt beschouwd vanwege te hoge kosten.

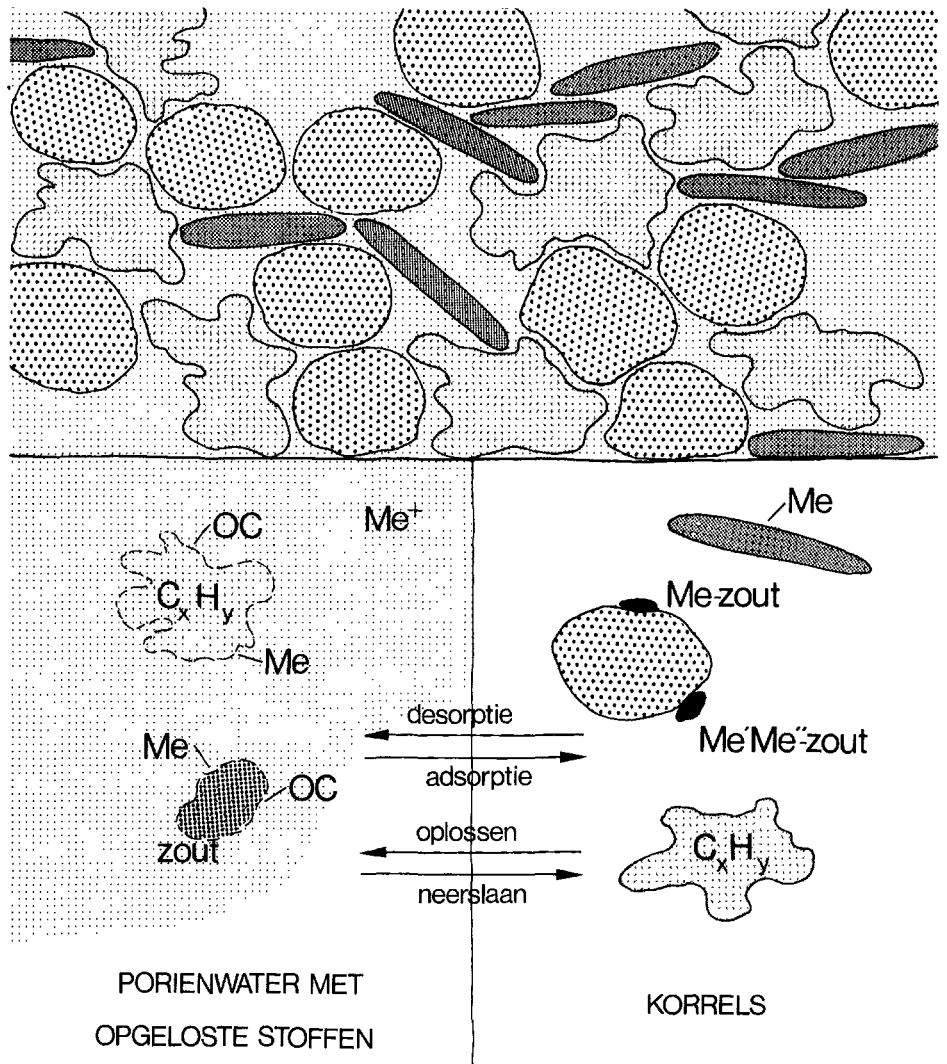
Verontreinigingsbeheersing baggerspecie

MKO heeft onderzocht of de gevolgen van de verontreinigingen voor het milieu mogelijk beperkt kunnen worden door het treffen van voorzieningen op de stortlocaties.

Uit literatuurstudie was gebleken dat sommige natuurlijke materialen met een hoog organische-stofgehalte, de verontreinigingen zeer hecht kunnen binden. Op grond daarvan kwam het idee naar voren om deze materialen als een goede natuurlijke isolatie rond een stortlocatie te gebruiken. Een dergelijke isolatie zou een aantal voordelen hebben ten opzichte van in gebruik zijnde folies en membranen, zowel technisch, qua duurzaamheid als economisch bezien.

Onderzoek ter bescherming van het grondwater, dat is verricht naar het vermogen van natuurlijke materialen als klei en veen om verontreinigingen, afkomstig uit baggerspecie vast te leggen omvatte 3 delen: een literatuuronderzoek, schudexperimenten en kolomproeven.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat klei- en veengronden effectief zijn in het adsorberen van zware metalen. Als belangrijkste conclusie omtrent de adsorptie van organische microverontreinigingen geldt dat het organisch-koolstofgehalte (humus) in de vastleggende laag bepalend is. Hierdoor moet het mogelijk zijn om deze materialen als een soort verontreinigingenvasthoudend filter rond een loswal te gebruiken. Voor het vastleggende vermogen van zowel zware metalen als organische microver-



ontreinigingen lijkt derhalve veen een bij uitstek geschikt materiaal. Het toepassen van niet verontreinigde baggerspecie met een hoog gehalte aan organische koolstof lijkt eveneens perspectieven te bieden. Met behulp van de schudexperimenten is het mogelijk gebleken waarden voor de verdelingscoëfficiënt te bepalen voor nonaan, hexadecaan, β - en γ -hexachlorcyclohexaan, hexachloorbenzeen en pentachloorfenol aan veen. Voor benzo(b)fluorantheen, benzo(a)pyreen en hexachloor/bifenyyl (PCB 138) is dit niet gelukt.

Toevoeging van verweerde minerale olie heeft weinig invloed op de ligging van het adsorptie-evenwicht, dit is de verhouding tussen in het poriënwater opgeloste en aan het korrelmateriaal gehechte verontreinigingen. Het feit dat bij de schudexperimenten een cocktail van verontreinigingen aanwezig was, heeft weinig invloed op het adsorptiegedrag van de individuele verbindingen. Bij de kolomproeven is adsorptie van γ -hexachloorcyclohexaan zowel apart met behulp van de radiochemische methode als in combinatie met andere verontreinigingen bepaald. Daaruit is geen beïnvloeding van deze verontreinigin-

Schematische voorstelling van de hoofdprocessen in de bodem.

In het poriënwater tussen de korrels zijn verontreinigingen opgelost als vrije oplosbare verbindingen of vrije ionen van zware metalen of complexgebonden met oplosbare anorganische of organische verbindingen.

Over het algemeen zijn verontreinigingen slecht oplosbaar in water en zullen neerslaan op de korrelfractie. Dit geldt vooral voor de zware metalen.

Voor organische verbindingen is vooral het adsorptie-desorptieproces van belang, waarbij de verontreinigingen voornamelijk aan de organische stofadsorberen.

Om verspreiding van de verontreinigingen via het grondwater tegen te gaan is het van belang om het evenwicht in de figuur naar rechts te verschuiven.

gen op de adsorptie van γ -hexachloorcyclohexaan naar voren gekomen. Voor de meeste onderzochte stoffen kon de mate van adsorptie worden bepaald uit doorbraakcurven, welke werden geconstrueerd na analyse van eluaatfracties. De resultaten van de kolomproef wijken niet in belangrijke mate af van de resultaten van de schudexperimenten.

ten. De resultaten sluiten goed aan bij literatuurgegevens. Eindconclusie is dat een laagdikte van ca. 1 m veen rond een loswal een voldoende afscherming geeft.

Onderzoek, ter bescherming van het oppervlaktewater is verricht naar behandeling van de effluentstroom uit baggerspeciedepots. De meeste verontreinigingen in de effluentstroom zijn gehecht aan zwevende bestanddelen. Indien dit effluent een voldoende gedimensioneerd bezinkbassin doorloopt kan een aanzienlijke reductie van het zwevende-stofgehalte worden bereikt. Dit geldt niet voor de stikstofverbindingen, waarvan de gehalten na het bezinkproces voornamelijk bestaan uit het goed oplosbare ammonium.

Wanneer het zwevende-stofgehalte of het ammoniumgehalte moet worden teruggebracht, kan gedacht worden aan diverse technieken. Gelet dient hier te worden op de relatie tussen kosten en effectiviteit.

Daaruit blijkt dat optimalisatie van het bezinkbassin met daarin in extreme gevallen gekoppeld extra nitraatverwijdering optimale resultaten geeft.

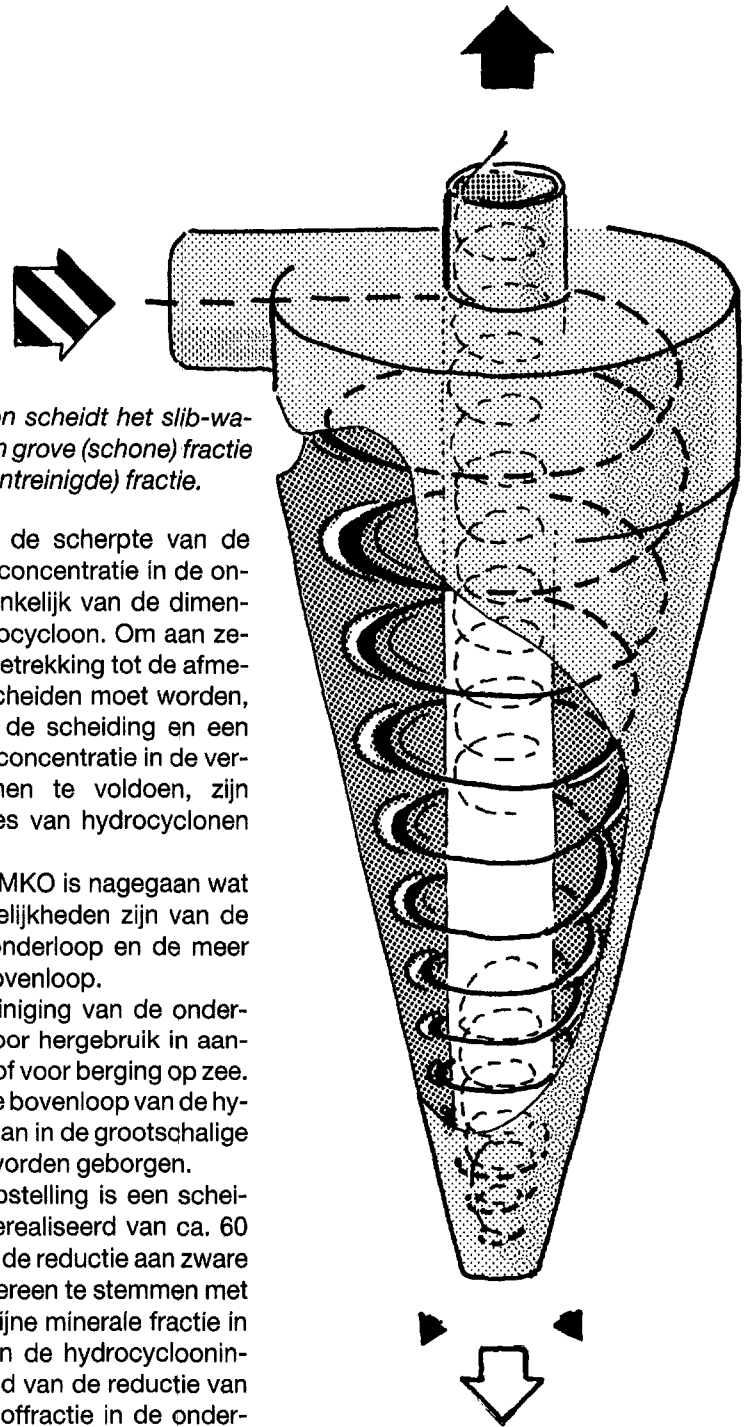
Hydrocyclonage

Onderhoudsbaggerspecie zoals dat in het gebied van de Rotterdamsche Waterweg wordt gebaggerd is samengesteld uit een aantal verschillende minerale fracties van verschillende afmetingen. Uit onderzoek is gebleken, dat zowel de zware metalen als de organische microverontreinigingen vooral gebonden zijn aan de fijne minerale fractie en de natuurlijke organische-stoffractie.

In een gezamenlijk onderzoek van VROM, TNO, Boskalis Westminster, Esmil, Rijkswaterstaat en Gemeentewerken Rotterdam is onderzoek verricht naar de reinigingsmogelijkheden van onderhoudsslib.

Uit een eerste vergelijkend onderzoek bij TNO is gebleken, dat scheiden in een grove c.q. zware fractie en een fijne c.q. lichte fractie met behulp van hydrocyclonen de beste resultaten geeft.

In principe is de werking van een hydrocyloon als volgt: het mengsel wordt onder invloed van de pompdruk met grote snelheid tangentieel in de hydrocyloon gebracht. Door de optredende centrifugaalkrachten worden de zwaardere deeltjes naar de wand geslingerd, waar ze spiraalgewijs naar de zogenaamde onderloop worden geduwd. De lichtere deeltjes verdwijnen met het grootste deel van het water door de bovenloop. Er zal echter altijd een deel van de fijne fractie mee door de onderloop verdwijnen. De deeltjesafmeting waarop ge-



*Een hydrocyloon scheidt het slib-wa-
termengsel in een grove (schone) fractie
en een fijne (verontreinigde) fractie.*

scheiden wordt, de scherpte van de scheiding en de concentratie in de onderloop zijn afhankelijk van de dimensies van de hydrocyloon. Om aan zekere eisen, met betrekking tot de afmeting waarop gescheiden moet worden, de steilheid van de scheiding en een voldoende hoge concentratie in de verschillende stromen te voldoen, zijn soms combinaties van hydrocyclonen noodzakelijk.

In het kader van MKO is nagegaan wat de bergingsmogelijkheden zijn van de relatief schone onderloop en de meer verontreinigde bovenloop.

Bij voldoende reiniging van de onderloop kan deze voor hergebruik in aanmerking komen, of voor berging op zee. De verontreinigde bovenloop van de hydrocyloon kan dan in de grootschalige bergingslocatie worden geborgen.

Bij een praktijkopstelling is een scheidingsdiameter gerealiseerd van ca. 60 μm . Hierbij bleek de reductie aan zware metalen goed overeen te stemmen met de reductie aan fijne minerale fractie in de onderloop van de hydrocylooninstallatie. Op grond van de reductie van de organische-stoffractie in de onderloop, mag worden aangenomen, dat de organische verontreinigingen in het slib in dezelfde verhouding zijn gereduceerd.

Als nadeel van een scheidingsmethode in een grove, zware fractie en een fijne, lichte fractie gelden de slechtere consolidatie-eigenschappen van de te bergen fijne fractie uit de bovenloop van de hydrocylooninstallatie. Laboratoriumonderzoek naar de consolidatie-eigenschappen van slib uit de bovenloop van een hydrocylooninstallatie heeft aangetoond, dat bij een scheiding van ca. 50 % door de onderloop en 50 % door de bovenloop, de laatste, na consolidatie, evenveel ruimte inneemt als onbehandeld slib. Er wordt dus geen ruimtewinst in de loswal verkregen zonder gebruik te maken van zeer grote indikin-

stallaties. Bovendien moet het grovere slib uit de onderloop van de hydrocylooninstallatie, dat weliswaar voldoet aan slib van klasse 1 te stellen eisen, maar toch niet geheel schoon is, elders worden geborgen, hetgeen extra transportkosten met zich meebrengt. De methode is voor onderhoudsslib klasse 2 en 3 niet zinvol.

Voor het scheiden van klasse 4-specie kan een hydrocyloon, of een combinatie van hydrocyclonen als procesonderdeel goed bruikbaar zijn.

MKO-medewerkers van 1974 tot 1986

Al J.	Dullemeijer J.	Kroes A.	Speekenbrink H.
Allersma	Duynisveld P.	Kuipers J.W.M.	Stada J.E.
Alphen J. van	Eck G.T.M. van	Langeweg F.	Stelling J.G.
Andeweg J.N.	Eden A. van	Lases W.B.P.M.	Stoep R. van de
Andrea J.W.F.	Ende J.J. van de	Leeuwen P. van	Stolk
Bakker D.J.	Ende K. van de	Lemmers	Struyk R.A.
Bakker J.	Eyk T. van	Loo R.M.O. de	Tielman M.
Bakker N.	Faber B.J.	Meer T.G. van der	Tromp D.
Bal P.	Fresco J.	Meulen P.A. van de	Tuin H. van der
Behrens H.W.A.	Gast J. de	Meulenberg M.	Tulling N.
Behrens P.	Gerretsen A.	Molenaar H.	Tuyl J. van
Berg N.P. van den	Gilde L.J.	Mooiman C.	Tuytel T.
Beuse P.H.	Ginkel H. van	Nederlof L.	Vechgel R.H.W. van
Bijl M. van de	Graaf J. van de	Nekker J. de	Veelen C.J. van
Bilt J. van der	Gram R.A.G.	Nieuwenhuizen L.R.	Veen R. van de
Bisschop A.R.	Groenewegen H.J.	Nijssen J.P.J.	Velde C.P. van de
Blokland T.	Groot J.M.	Noordijk A.C.	Vellinga T.
Bochove G. van	Gunst B. van	Oostrum van	Veltman M.
Boer J.E. de	Gunsteren L. van	Orden R.G.J. van	Velzen E.H. van
Bomhoff	Haan H.J. de	Otterloo R. van	Verhagen W.
Boodt C.	Hartman J.	Ottevanger G.	Verwerda S.
Bos H.	Heijden J. van de	Ouden O. van de	Viergever M.A.
Bos R.J.	Heijndijk P.	Overgaag A.J.M.	Visee F.
Both R.	Heinen M.	Parent M.G.	Visser A.A.
Bovenberg J.	Hellema J.A.	Pavert B. van de	Visser F.
Bras A.	Hesselink H.C.	Ploeg W. van de	Vlemmix W.A.M.
Bree S.E.M.	Heuvelman D.	Pluym M.	Vries H. de
Brolsma J.U.	Hoedt G. den	Poel S.	Vries T. de
Brouwer J.W.	Hoek A.M. van de	Pols D.	Vroome J. de
Bruggeling G.	Hoogland J.	Pronk T.	Waard C.P. de
Bruin J.J.	Hoopen H.G.H. ten	Rakhorst H.D.	Waay R.A. de
Bruyne J.M. de	Hooymeijer A.	Ramaker J.G.	Wal van der
Buitengeweg A.J.W.	Hop J.G.	Ratsma K.	Weeda
Busch B.	Horst H. van der	Rees H. van	Weijde R.W. van der
Cadel J.C.	Hout P.J.M. van	Reus J.H. de	Wieringen M.H. van
Cox M.	Jong B. de	Ridder K.H. van de	Wiersma J.
D'Angremond K.	Jonge A.N. de	Rijn M.J. van	Wijk R. van der
Davis P.G.J.	Jongste M.	Rijt C. van	Wijk W. van
Dekker H.G.	Jonkergouw W.M.	Rokosch W.D.	Wijnen E.J.E.
Dekker J.	Joritsma J.	Salomons W.	Winterkamp E.
Diekerhof M.C.	Kars F.J.	Schaar A. van de	Wit P.C. de
Dijk R. van	Keunigs	Schalkoord D.	Witter A.
Dixhoorn J. van	Kik L.	Slagmolen H.	Zetten J.W. van
Dollee A.W.	Kleinbloesem W.C.H.	Slothouber R.M.	Zijden W.A.J. van der
Dorst J. van	Koch W.	Snijders H.	Zonneveld P.A.
Draisma F.J.M.	Konijnenburg R. van	Snijders W.J.M.	
Droppert B.	Koning H. de	Spaans L.	

LIJST VAN M.K.O.-RAPPORTEN

Periode 1974-1987

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
PROJECTGROEP			
SLIBTRANSPORTMECHANISME			
Balansstudie			
Slibafvoer Lek, Waal, Maas	mei '74	WAD	58.50-R7450
Berekening achterblijvend sediment in de verschillende havenbekkens langs de Rotterdamsche Waterweg	febr.'74	GWR	58.50-R7412
Voorlopige sedimentbalans Waterweggebied	okt. '74	WAD	58.50-R7452
Verslag sedimentgehaltemeting in het Rijnmondgebied najaar 1974	apr. '77	WaWa	58.50-R7454
Mate van het representatief zijn van een sedimentatiegehaltemonster	aug. '74	WAD	58.50-R7453
Tracermetingen waterweggebied	juni '73	WL	R73.101
Voorstel radio-actieve tracermetingen Rotterdamsche Waterweg	juni '74	WAD	58.50-R7455
Voorlopig verslag proefstorting Rotterdamsche Waterweg	aug. '74	WAD	58.50-R7456
Proefstorting Rotterdamsche Waterweg	juni '74	WAD	58.50-R7463
Slibtransportmechanisme			
Consolidatie			
Eigenschappen Botlek- en Merwedelib	apr. '75	GWR	88.10-R7518
Consolberekeningen bij slib-consolidatieproeven	'74	WaWa	58-50-R7462
Gegevens over het slib in het Rotterdamse havengebied (korrelverdelingsdiagrammen)		LGM	59.00-R7551
Slibtransportmechanisme			
Bemonsteringsmeth. en analyseapparatuur			
De ontwikkeling van sedimenttransportmeters voor toepassing in een benedenrivier	nov. '74	WAD	R74.101

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Slibtransportmechanisme			
Sliblodingen en dichtheidsmetingen			
Grondichtheidsmetingen d.m.v. Y-straling (informatie 1)	'74	LGM	RXX.103
Slibdichtheidsmetingen in situ m.b.v. Y-densitometers (informatie 2)	okt. '74	LGM	R74.102
Slibdichtheidsmetingen; interpretatie en significantie van de meting (informatie 3)	dec. '74	LGM	R74.103
Praktijkervaring met de Harwell Aere dichtheidsmeters	dec. '74	LGM	R74.104
Slibtransportmechanisme			
Literatuurstudie naar de fysische eigenschappen van slib	'74		
Eindrapportage projectgroep slibtransportmechanisme	juli '77		R77.102
BAGGERMETHODIEKEN			
Meting en registratie sleepopperlading	febr. '72		R72.101
Discussiestuk "Definities en symbolen baggerwerk"	juli '73		R73.102
Hoeveelheidsbepaling van slib in sleepopperzuigers (tonnenverrekening)	okt. '74		R74.105
Inventarisatie slibbaggermaterieel	nov. '74		R74.106
Overzicht produktiebepalende en beïnvloedende factoren bij sleepopperzuigers	jan. '75		R75.103
REDUCTIE SLIBAFZETTINGEN			
Verkennd onderzoek van de maatregelen die de slibafzettingen kunnen reduceren	dec. '76	GWR	58.50-R7621
Mogelijke maatregelen die de slibafzettingen kunnen reduceren	sept. '76	ML	R76.101
Slibbestrijding deel I. Dicht scherm	juni '76	GWR	69.30-R7608
Slibbestrijding deel II. Luchtbellen-scherm in de mond van de Botlek	nov. '77	GWR	69.30-R7718
Slibbestrijding deel III. Waterschermen	apr. '77	GWR	69.30-R7712
Slibbestrijding deel IV. Onderzoek constructiemogelijkheden dicht slib-scherm	okt. '78	GWR	69.30-R7801

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
TRANSPORT IN PROTOTYPE			
Evaluatie van een Monitek-troebelheidsmeter model LT 210/130, serie nr. 799	jan. '76	WaWa	R76.102
Sedimentgehaltebepaling m.b.v. de Mozitek LT 210/130 troebelheidsmeter	mrt. '77	WaWa	R77.101
Metingen van de verticale verdeling van het zwevendestofgehalte in het zeegebied voor de monding van de Waterweg, najaar 1978	jan. '80	NZ	R80.101
deel 1 Balansstudie deel 2 Computeruitvoer deel 3 Modelonderzoek deel 4 Consolidatie			
THEORETISCH ONDERZOEK			
Toepassingsmogelijkheden van een diffusiemodel op de slibbeweging in de Rotterdamsche Waterweg	juni '74	WAD	58.50-R7457
Toepasbaarheid getijmodel Rijnmond voor onderzoek sedimentatieproblematiek	nov. '75	WL	R75.101
Microbiologische aspecten en het sedimentatiegedrag van rivierslib	nov. '75	WaWa	R75.102
Valsnelheid suspensief sediment Meetresultaten monsternamen Rotterdamsche Waterweg najaar 1975	aug. '76	WaWa	R76.103
Onderzoek eigenschappen van slib Literatuuronderzoek	nov. '76	WL	R76.104
CONSOLIDATIE			
Opzet modelproeven t.b.v. de analyse van het consolidatiegedrag van havenslib		LGM	RXX.101
Nota 1 Gasontwikkeling c.q. gasontwikking Botlekslib		LGM	59.00-R7856
Nota 2 Het snijden van de slibmonsters uit de slibsteekboringen	dec. '75	LGM	59.00-R7550
Nota 3 IJking Soil test Vane en Vane FL100		LGM	59.00-R7857
Nota 4 De uitvoering van de slibsteekboringen	'78	LGM	59.00-R7860
Nota 5 Fotografische weergave van slibsteekboringen		LGM	RXX.102
Verloop Wateroverspanningen (grafieken)	'78	LGM	59.00-R7858

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Gasgeneratiegrafieken	'78	LGM	59.00-R7859
Consolidatieproeven LGM			
deel 0 Samenvatting proefresultaten	mrt. '78	LGM	59.00-R7850
deel 1 Opzet en inrichting van de proeven	mrt. '78	LGM	59.00-R7851
deel 2 Analyse consolidatieproces	mrt. '78	LGM	59.00-R7852
deel 2 Bijlagen	mrt. '78	LGM	59.00-R7853
deel 3 Analyse van het gasgeneratieproces	mrt. '78	LGM	59.00-R7854
deel 3 Bijlagen	mrt. '78	LGM	59.00-R7855
Onderzoek naar het consolidatiegedrag en sterkte-eigenschappen van havenslib	juli '79	LGM	59.00-R7957
Samenvatting proefresultaten			
Slibconsolidatie onder water			
Evaluatie laboratoriumonderzoek	nov. '80	GWR	59.00-R8034
I.d. toepassingen in de praktijk	apr. '81	GWR	59.00-R8109
VERREKENBARE HOEVEELHEDEN			
Rapport m.b.t. gewenste verrekenmethode	jan. '76		R76.106
Verrekenbare hoeveelheden in baggercontracten	febr.'77		R77.103
Eindrapportage projectgroep 2 Werkgroep 2.1 Methodenbepaling verrekenbare hoeveelheden	juni '77		R77.104
INVENTARISATIE BAGGERGEGEVENS			
Onderzoek naar het baggerwerk in de toegang naar Europoort	jan. '75		R75.104
Resultaten dichtheidsmetingen a.b. van de sleepzuiger "Gateway"	juni '75		R75.105
Omschrijving relaties en begrippen van produktiebepalende factoren bij onderhoudszuigwerk	mrt. '75		R75.106
Eindrapportage projectgroep 2 Werkgroep 2.2 Opstellen programma van eisen automatisering baggerdatabestand	juni '77		R77.105
BAGGERMATERIEEL			
Positiebepaling sleepzuigkop	sept.'77		R77.107
Eindrapportage projectgroep 2 Werkgroep 2.3 Evaluatie baggermaterieel c.q. alternatieven	juni '77		R77.106

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
SLIBBAGGERPROEF			
Vorbereiding slibbaggerproeven	juni '75		R75.107
Rendementsberekening m.b.t. aanpassing baggermaterieel	sept.'75		R75.108
Ontwikkeling monsternameapparaat	dec. '76		R76.105
Eindrapportage projectgroep 2 Werkgroep 2.4 Slibbaggerproef	okt. '77		
SPECIEBERGING PLASSEN			
Kwaliteitsonderzoek slib/zand/water t.b.v. opvullen Oostvoornse Meer Opzet monstercampagne	juni '74		R74.107
Proefstorting Mississippihaven 29 april 1975	sept.'75		R75.109
Aspecten van verontdieping van het Oostvoornse Meer met onderhouds- baggerspecie	jan. '77		R77.110
Het opvullen van het Oostvoornse Meer met baggerspecie	mei '77		R77.111
Meetprogramma proefstorting Oost- voornse Meer	sept.'78	GWR	103 11R7814
Enkele beschouwingen over een proef- storting van baggerspecie in het Oostvoornse Meer		WL	110.44-R765
Overzicht van aspecten verondiepen v.h. Oostvoornse Meer met bagger- specie; een verwijzing naar de ver- schillende onderzoeksrapporten	nov. '80		R80.04
Milieuchemische aspecten v.h. storten van baggerslib uit de Maasmond, Botleken Waalhaven in het Oost- voornse Meer, deel I en II	sept.'80	WL	R80.102
Technische, financiële en waterkwa- liteitsaspecten van verondieping van het Oostvoornse Meer met onder- houdsbaggerspecie	sept.'80		R80.05
Opvulling van het Oostvoornse Meer met onderhoudsbaggerspecie + bijlagen	nov. '80	GWR	110.44R8040
Het storten van slib in de Missis- sippihaven	apr. '80		R80.103
Waterkwaliteit tijdens en na het storten van baggerspecie uit de Maasmond en de Waalhaven in het Oostvoornse Meer	aug. '81		R81.101

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
KLEIVERKOOP			
Hergebruik slib	nov. '80		R80.03
Verslag van de M.K.O.-projectgroep Awb.	okt. '80		
	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
STATIONAIR ZUIGSYSTEEM			
Onderzoek naar de mogelijkheden tot realisering van een slibgemaal	dec. '78	GWR	R78.103
Eindrapport proef-stationair zuigen Toestromen van slib	mei '78		R7803
Bepaling van het max. leidingdebiet van slib bij gegeven opvoerhoogte	juni '78		R7807
Stationair zuigstelsel Maasmond, Calandkanaal en Beerkanaal Voorlopige kostenraming	jan. '79	GWR	103.04-R7901
Weerstand van slib in persleidingen	febr.'79	GWR	103.04-R7906
Persen van slib	juni '79	GWR	103.04-R7919
Kostenraming slibgemaal	dec. '79	GWR	103.04-R7947
Stationair zuigbedrijf mond Euro-poort	nov. '80	GWR	103.04-R8033
Technische randvoorwaarden stationair zuigstelsel	jan. '81	GWR	103.04-R8102
Toestromen van slib gedurende baggerwerkzaamheden	febr.'81	GWR	103.04-R8107
Leidingweerstand en benodigd vermogen bij slibtransport	sept.'81	MKO	R81.07
Eindrapport betreffende bodemveranderingen gedurende de periode 21 december 1983 tot 5 april 1984	okt. '84	MKO	R84.05
Interimrapport	jan. '83	MKO	R83.01
Stationair zuigstelsel	okt. '84		R84.06
VAREN BOVEN SLIB			
Onderzoek nautische diepte	nov. '74	GWR	98.20-R7427
NSP-voorstel onderzoek varen in slib	nov. '76	NSP	98.20-R7628
Interimrapportage - proefvaart STT "Lepton"			98.20-R7627
- NSP modelonderzoek varen boven slib	aug. '76	BER	R76.107

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Proefvaart STT "Lepton" prototype onderzoek varen boven slib	aug. '76	BER	R76.108
appendix 1 Meetprogramma voor de Lepton			015-14-264/C
appendix 2 Lodingen			015-14-265/C
appendix 3 Dichtheidsmetingen			015-14-266/C
appendix 5 Stroomsnelheidsmetingen			015-14-267/C
appendix 6 Geg. m.b.t. de Lepton			015-14-268/C
			015-14-269/C
appendix 7 Meetverslagen (zintuig lijke waarnemingen)			015-14-270/C
appendix 8 Instrumentele waarnemingen a/b Lepton			015-14-271/C
appendix 9 Vergelijk v.d. bochtma- noeuve van de Lepton met die van andere binnen- komende schepen			015-14-272/C
Varen boven slib (modelonderzoek)	okt. '77	BER	98.20-R7731
Varen over slib	juni '78	GWR	98.20-R7806
SLIBVANG			
Slibput Botlek periode 24-4-1966 - 17-3-1967	apr. '77		R67.101
Slibput Botlek	mei '79	GWR	103.05-R7808
Slibputten in de 1e en 2e Petroleum- haven, Eemhaven en Waalhaven	mei '79		103.05-R7917
Gedrag van de bufferput	sept. '79	BER	
Slibvang haven Den Oever	okt. '79	GWR	103.05-R7936
Aanslibbing Calandkanaal/Beerkanaal periode 1974-1979	dec. '79	GWR	103.00-R7923
Slibtransportmeting in de slibvang op 25-8-1979	juli '80	GWR	53.00-R8013
Onderzoek naar de toepassingsmoge- lijkheid van een slibvang in Antwerpen	aug. '80		103.05-R8017
Aanslibbing in de Centrale Geul van de Botlek 1979	aug. '80		R80.104
BAGGERBESLISSING			
Automatisering datastroom in het onderhoudssleepzuigwerk Overzicht output	sept. '79	BER	R79.103
Baggerprogrammering Globaal programma van eisen voor de komende jaren	dec. '80		80-14

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Geprogrammeerd baggeren		BER	58.00-R7810
Operationalisering van een informatiesysteem t.b.v. het baggerproces met baggerwerktuigen	aug. '81	BER	81.06
BODEMEGALISATOR			
Proeven met onderwaterploeg op de Rotterdamsche Waterweg	okt. '78	BER	R78.104
Proef bodemegalisor	aug. '80	GWR/ B-7	R80.105
Bodemegalisor "Pesante" Dichtheidsverandering in de verticaal	nov. '81	GWR/ B-7	R81.102
Snijproeven met messen en waterjets in zand en klei	nov. '80	GWR	103.06-R8006
Gegevens literatuurrecherche m.b.t. de bodemegalisor	aug. '81		81-04
Raamwerk voor de Randvoorwaarden voor het inzetten van een bodemegalisor - Tussentijds verslag van M.K.O. proj.groep Bodemegalisor	jan. '81		R81.99
Randvoorwaarden bij het inzetten van een bodemegalisatiewerktuig voor de verdiepingswerkzaamheden aan de zandgolven in de toegangsgeul	juni '82		82.02
Egaliseren zandgolven; aanvulling op rapport R-8202	dec. '82		K.G. 82-25
OPNAMETECHNIEK IN SITU			
Ontwikkelingen meetmethode slibdichtheid Rotterdamsche Waterweg	nov. '77		R77.109
Non-lineair echolood. Verslag proefnemingen	febr.'78	BER	R78.101
Non-lineair echolood. Rapportage proefnemingen EMGI + EMGII	febr.'78	BER	R78.102
Modificaties m.b.t. de gascompressievolumemeter	nov. '79	LGM	R79.101
Dichtheidsmetingen in situ	nov. '79	BER	R79.102
Gehaltemeter OTIS (voorl. versie) afnametests	sept.'83		R83.16
Ontwikkeling van de "gasgehaltemeter"	jan. '82	GWR	R84.01
Verwerking echo-akoestische data bij gebruik van niet-lineair "slib"-echolood (afrondding 2e fase)	apr. '83		R83.20

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Spectraal equalisatieproces	nov. '83		R83.17
Ontwikkeling van de gasgehaltemeter	jan. '84		R84.01
Nauwkeurighedsanalyse van de gasgehaltemeting	nov. '85	GWR	36-85-81 R86.04
Projectinfo OTIS	nov. '84		R84.08
Een oriënterend onderzoek naar de Y-achtergrondstraling van bodemslib in het Rotterdamse havengebied	okt. '85		R85.08
Onderzoek relatie echolooddiepte en de diepte met dichtheid van 1,2 ton per m ³ en hoger t.o.v. streefdiepte	okt. '85		R85.09
Slibtransportmeting Maasmond Caland/Beerkanaal april/mei 1985	dec. '85		R85.13
Akoestische Detectie Slib Ontwikkeling en bouw B.A.S.	dec. '85		R85.07
Akoestische Detectie Slib Optimalisatie B.A.S.	okt. '86		R87.03
Eindrapportage O.T.I.S.	apr. '87		R87.09
SLIBBERGING OP EN AAN ZEE			
Onderzoek bergingsmogelijkheden en voorlopig ontwerp Slufterloswal	nov. '80	NZ	R80.01
Rapport van de werkgroep Civieltechniek Slufterdamproject	'82	o.I.R	
ONTWIKKELING BEUNMEETSYSTEEM			
Voorstudie beunmeetsysteem t.b.v. M.K.O.-project	mrt. '79	CoWA	R79.105
Beunmeetsysteem verslag van proeven a.b. HAM 308	jan. '81	BER	R81.103
Projectgroep 1, verslag van proeven aan boord van de HAM 308	jan. '81		81-01
Testmetingen niveaumeters t.b.v. het project Beunmeetsysteem van M.K.O.	jan. '81	BER	RWS-BER
Ontwikkeling beunmeetsysteem voor sleepopperzuigers (projectvoorstel fase 1)	jan. '80		R80.106
Principieel mogelijke samengestelde beunmeetsystemen	mei '80		R80.107

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Evaluatiestudie (fase 1) voor de ontwikkeling van een beunmeetsysteem			
Samenvatting	juli '81		R81.09
Deelrapport 1 Doelstelling	juli '81		R81.09
Deelrapport 2 Identificatie	juli '81		R81.09
Deelrapport 3A Evaluatie methode	juli '81		R81.09
Deelrapport 3B Evaluatie basismetingen	juli '81		R81.09
Deelrapport 3C Evaluatie samengestelde beunmeetsystemen	juli '81		R81.09
Deelrapport 4 Nadere selectie en ontwikkelingsvoorstel	juli '81		R81.09
Deelrapport 5 Projectverantwoording	juli '81		R81.09
Interne referentie: 1 Notulen en projectvoorstel	juli '81		R81.09
Interne referentie: 2 Fabrieksdocumentatie	juli '81		R81.09
Interne referentie: 3 Studies basismetingen	juli '81		R81.09
Interne referentie: 4 Studies samengestelde systemen	juli '81		R81.09
Interne referentie: 5 Studies doorbuigings- en inzinkingsmeting	juli '81		R81.09
Interne referentie: 6 Testmetingen niveaumeters	juli '81		R81.09
Interne referentie: 7 Evaluatie mechanische penetratiemethode	juli '81		R81.09
Interne referentie: 8 Onderzoek bruikbaarheid capacitieve methode	juli '81		R81.09
Interne referentie: 9 Gevoeligheid onderzoek en evaluatie samengestelde systemen	juli '81		R81.09
Omschrijving voor de ontwikkeling van het beunmeetsysteem	'82		R82.106
Optimalisering inzinkmethode aan boord ms. Cosmos Eindrapportage Beunmeetsysteem met bijlagen	aug. '86		R86.08
DICHT SLIBSCHEM			
Effect slibscherm op het onderhoudsbaggerwerk	mrt. '79	GWR	69.30-R7909

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Een aanzet tot een ontwerp-sterkte berekening van het slibscherm	okt. '79	GWR	69.30-R7944
Modelonderzoek t.b.v. het slibscherm	mrt. '80	GWR	69.30-R8002
Slibscherm open of dicht	mrt. '80	GWR	69.30-R8003
De ontwerp-sterkteberekening van het slibscherm	apr. '80	GWR	69.30-R8004
Een voorstel tot de aanleg van een proefslibscherm in de mond van de Botlekhaven	mei '80	GWR	69.30-R8009
Baggeren t.p.v. het slibscherm	apr. '80	GWR	69.30-R8012
Signaalkabel mond Botlek 1980 Ervaringen en conclusies	okt. '80	GWR	69.30-R8036
Slibschermproef in de Botlekhaven	juni '81	GWR	69.30-81.25
100 m slibscherm mond Botlek	jan. '82	GWR	69.30.82.11
Publikatie: slibscherm		GWR	RXX.104
Onderhoudsbaggerwerk bij het proef- slibscherm in de mond van de Botlek	nov. '82	MKO-R	R82.101
Stand van zaken slibscherm	aug. '82	MKO-R	R82.102
Een proef met een onderwaterscherm in de mond van de Botlekhaven	'82	MKO-R	R82.103
Krachten in het slibscherm	febr. '82	MKO-R	R82.104
Definitieve berekening van de funde- ring van het proefslibscherm	febr. '82	MKO-R	R82.105
Intern verslag slibschermproef mond Botlek	'83	MKO-R	R83.21
Interimrapport slibscherm	okt. '83	GWR	R83.14
Uitwerking voorontwerp slibscherm	jan. '85		R85.01
Voorstel laag/vast scherm in de Botlek	sept. '85		R85.05
SLIBWOLK SIGNALERING			
Slibwolksignalering Botlek	okt. '78	GWR	58.00-R7810
Onderzoek naar de invloed v.h. aantal in de verticaal bemeten punten op de grootte v.h. berekende transport van suspensief materiaal	jan. '79	WaWa	R79.104
Slibwolksignalering 1e voortgangs- verslag	mrt. '79	GWR	58.00-R7907
Slibwolksignalering 2e voortgangs- verslag		GWR	58.00-R7927

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Onderzoek concentratiemeters t.b.v. slibwolksignalering	aug. '79	GWR	58.00-R7937
Keuze slibwolksignalering	aug. '80	MKO	58.00-R8002
Keuze optische concentratiemeters t.b.v. slibwolksignalering	okt. '80	GWR	58.00-R8032
Verbeteren van de nauwkeurigheid van de optische concentratiebepaling	nov. '80	GWR	58.00-R8035
Gegevens literatuurrecherche m.b.t. dataverzameling/-verwerking van sediment in estuaria	apr. '81	RWS	81-03
Vooronderzoek vaste sedimentmeter Poortershaven	apr. '82	WaWa	44.001.07
Vooronderzoek ten behoeve van het ontwerp van een prototype slibmeetopstand	febr. '83	NZ	NZ-N83.16
Bedieningsvoorschrift Vellog	'83	WaWa	R83.22
Realisatie sedimentstation Poortershaven	juli '83	WaWa	44.001.09
Realisatie en beheer van een inrichting voor het meten en registreren van slibgehalten in de Botlekmond	nov. '83	GWR	54.50-R83.41
Realisatie en exploitatie van de slibwolksignaleringsstations en verwerking van de eerste meetresultaten Interimrapport 1981-1983	mrt. '84	MKO	54.50-R84.17 R83-19
Analyse van de schade aan de slibgehaltemeetinrichting in de Botlekmond in juli 1983	nov. '83	GWR	54.50-R83.43
Het functioneren van de inrichting voor het meten en registreren van slibgehalten in de Botlekmond	dec. '83	GWR	54.50-R83.46
Signaalanalyse van de "Sediment"-meetwaarden te Poortershaven en Botlek	febr. '85	RWS	44.001.12
Het voorkomen van slibwolken op de Rotterdamsche Waterweg gedurende max. vloed- en ebstroom	'85	RWS	R85.14
Eindrapportage Slibwolksignalering	apr. '87		R87.11
BAGGERPROGRAMMERING			
Beslissing omtrent de ontwikkeling en invoering van het systeem baggerprogrammering	juli '82	BER	82.03

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Baggerprogrammering, deelsysteem schrapkaartenverwerking	dec. '82	BER	82.08
Functioneel ontwerp deelsysteem besteksadministratie	juli '83		R83.11
Functioneel ontwerp van het deelsysteem controle en registratie	nov. '85		R85.11
Eindrapportage Baggerprogrammering	apr. '87		R87.10
MILIEUBEWUST BAGGEREN EN STORTEN			
Baggersystemen in relatie tot het milieu	okt. '83		83-13
Literatuuroverzicht "Milieubewust baggeren en storten"	nov. '83		R 83-15
Baggersystemen in relatie tot het milieu (discussierapport binnen Gemeentewerken Rotterdam)	aug. '80		R80.108
Troebelheidsmeting slibeg Prinses Beatrixhaven d.d. 20 juni 1984	okt. '84		R84.09
Rapportage van proefput in zee	dec. '86		R 86
De vertroebeling bij verschillende baggertechnieken. Analyse van metingen in Rotterdam en Delfzijl	dec. '86	GWR	110.18/R 8647
Eindrapportage M.B.B.S.	apr. '87		R87.13
VERONTREINIGINGSBEHEERSING BAGGERSPECIE			
Interimrapportage verontreinigingsbeheersing baggerspecie	aug. '82		82-04
Literatuurrecherche reiniging specie	juli '81	GWR	110.10-R8101
Resultaten on line-recherche t.b.v. M.K.O.-project "Verontreinigingsbeheersing Specie", onderdeel reiniging specie			
Bestand Aqua line Chemabs Bioabs	juli '81		R81.104
Het verontreinigingsbeheersende effect van vastliggende materialen en het transport van verontreinigingen uit baggerspeciedepots			
Deel 1 literatuuronderzoek	febr. '84		R84.02

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Behandeling retourwater en optimalisatie bezinkbassin bij baggerspecie	nov. '85		R85.10
Het verontreinigingsbeheersende effect van vastleggende materialen op het transport van verontreinigingen uit baggerspeciedepots Laboratoriumonderzoek Schudexperimenten	juni '86		R86.06
Het verontreinigingsbeheersende effect van vastleggende materialen op het transport van verontreinigingen uit baggerspeciedepots Laboratoriumonderzoek Kolomproeven	jan. '87		R87.01
Het verontreinigingsbeheersende effect van vastleggende materialen op het transport van verontreinigingen uit baggerspeciedepots Hoofdrapport	apr. '87		R87.02
SEDIMENTATIEPATROON			
Discussiestuk stand van zaken projectgroep "Sedimentatiepatroon"	dec. '81		R81.105
Overzicht literatuuronderzoek	jan. '82		R82.107
Aanslibbing Havens deel I waterbeweging	juni '83	GWR	83-07
Aanslibbing Havens deel II slibbeweging	mei '83		83-08
Eindrapportage Sedimentatiepatroon	feb. '87	RWS	R87.07
BAGGERPARAMETERS			
Interimrapportage			R83.05
Eindrapportage	nov. '84	GWR	R8407
Opbouw dichtheid en sterkte van de verticaal na sedimentatie van slib	sept. '85		R85.04
HERGEBRUIK SPECIE			
Toepassing van gerijpt havenslib in de dijkbouw	juni '81		LGM CO
Milieu-aspecten bij toepassing van gerijpte baggerspecie in de dijkbouw	juli '81		R81.106
Publikatie Pt.: het gebruik van gerijpte baggerspecie in de dijkbouw	nov. '84		R84.10

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Toepassing gerijpte baggerspecie in de dijkbouw: deelrapport proefstuk hulpkade Streefkerk-West (incl. rapport: bijlagen)	febr. '83		GWR/RWS/BER 83-04
Toepassing gerijpte baggerspecie in de dijkbouw deelrapport:			
Statistisch onderzoek en voorstel milieutechnische toetsingscriteria t.b.v. de toepassing van Euroklei bij dijkwerken	mei '83		R83-06
Van last tot nut; verontreinigde baggerspecie	dec. '83		R83-18
Keramische verwerking baggerspecie	okt. '85		R85.07
Onderzoek proefstuk Lekdijk, Streefkerk-West Vergelijking Euroklei Maasklei	okt. '85		0351.4
Proefvak Euroklei Deltadijk te Hoek van Holland L.G.M.-rapport sept. '86	sept. '86	LGM	co. 260670/168
Proefvak Euroklei te Streefkerk L.G.M.-rapport aug. '86	aug. '86	LGM	co. 247312/32
Eindrapportage Hergebruik Specie	apr. '87	BER	R87.12
GESTUURD BAGGEREN			
Eindrapportage projectgroep gestuurd baggeren	'85	GWR	R85.12 co. 110.18- R8646
HYDROCYCLONAGE			
Verslag consolidatieonderzoek onderhoudsbaggerspecie uit de bovenloop van hydrocyclonage (lab. opstelling)	jan. '86		R86.01
Verslag Praktijkproef Hydrocyclonage	mei '86		5480 R 8615 R86.05
Onderzoek Hydrocyclonage Baggerspecie Noordzeekanaal	nov. '86	RWS NH	ANW 86.07 R86.10
Hydrocyclonage toepassing bij baggeroperaties Boka/Esmil	juli '86		BK 802 R86.11

Lijst met rapporten welke in nauwe relatie staan tot de M.K.O.-rapporten

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
N.S.P. sleepproefrapport nr. 125			
Rapport over modelproeven met flexibele anti-slibschermen voor ingangen van havenbassins te Rotterdam	juli '61		
W.L. M 1319			
Invloed luchtbellenschermen op zout inbrenging in de Rotterdamse Waterweg en op de uitwisselingsdebiëten Botlek	sept.'75		
Slibscherm in de mond van de Botlek			
Stroom-, chlooren sedimentmeting d.d. 24 sept. 1976	sept.'76	GWR	52-76-94
Lips-project D 1147 Schroefbelasting door slibschermen	febr.'80		R00-80-35
Werktuigkundige aspecten van een slibscherm			
Sectie transportkunde nr. 824 T.H. Delft	mei '80		
Test with a flexible silt prevention screen for Botlek Harbour in Rotterdam	aug. '80	NSP	R03383-1-BT
Signalering beschadiging slibscherm	nov. '81	GWR	
Drijverproeven met kunststofschuim in waterdruktank	okt. '81	GWR	69.30-R8139
Natte wrijvingsmetingen t.b.v. het slibscherm			
Enka C.T.I. D81/127 aug. 1981 en C.T.I. D81/188	nov. '81		
Sterkte-eisen slibscherm	jan. '82	GWR	
Fundering slibscherm	'82	GWR	
Weging alternatieven slibscherm	'82	GWR	
Baggeren bij slibscherm	nov. '82	GWR	103.00-R8225
Intern verslag slibschermproef mond Botlek 1982	jan. '83	GWR	
Ontwerp neertrekbaar slibscherm	jan. '83	GWR	

	Datum	Dienst	Code nr. M.K.O.-R-
Financiële afweging van twee voorgestelde schermtypen	okt. '82	GWR	69.30-R83.37
Evaluatie van het financiële rendement van een slibscherf in de mond van de Botlekhaven R.W.S. dir. WaWa Hellevoetsluis	nov. '83	WWKZ	83.S 207
Rendementsanalyse slibscherf Botlek haven	juli '85		69.30-R85.30
Aanslibbing Botlek periode 1-1-1979/ 1-5-1985	okt. '85		103.00-85
Schadegevallen mond Botlek	febr. '85		69.30-R85.13
Invloed laagscherf op koersstabiliteit	juli '85		69.30-R85.34