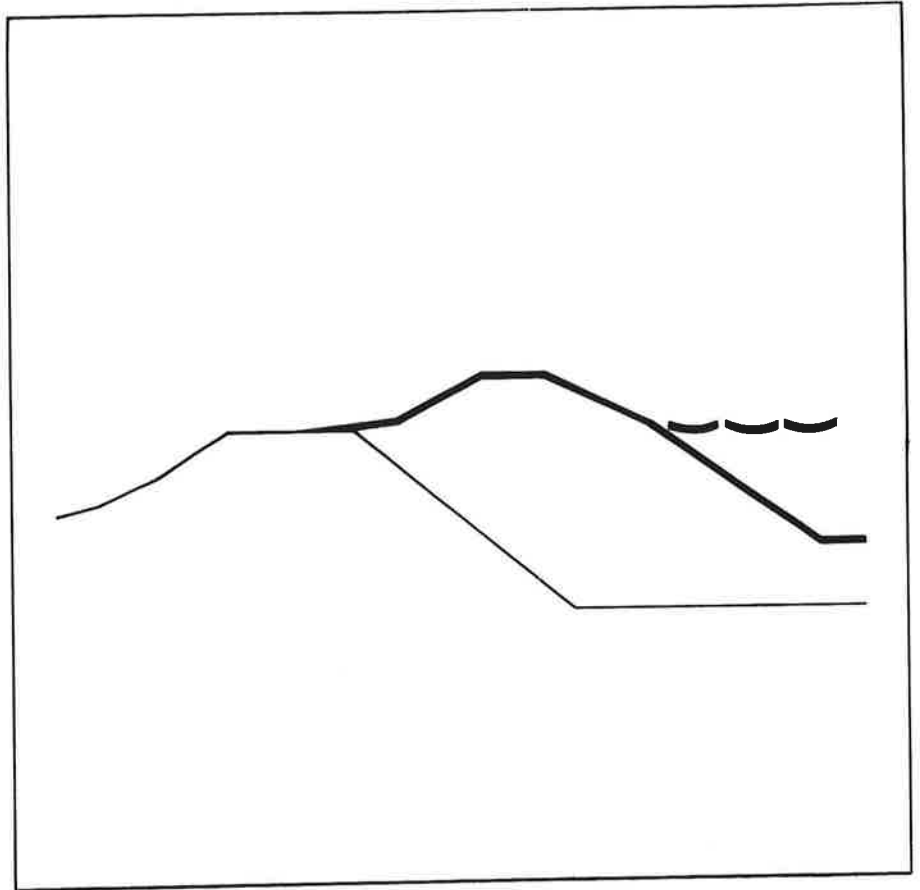
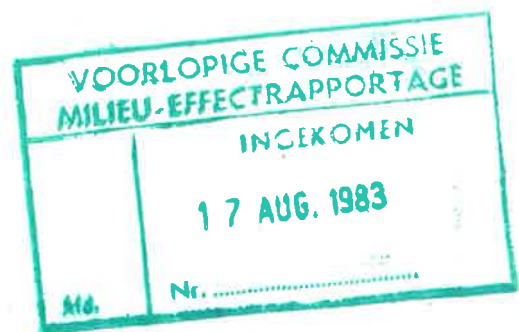


HET GEBRUIK VAN GERIJPT BAGGERSPECIE IN DE DIJKBOUW



Een samenvatting van de resultaten van een studie naar de grondmechanische en milieuhygiënische aspecten van de toepassing van gerijpte baggerspecie in de dijkbouw



HET GEBRUIK VAN GERIJPTE BAGGERSPECIE IN DIJKVERBETERING



ir. C.P. de Waard

Gemeentewerken Rotterdam,
afdeling Beheer Havens

ir. C.P. van de Velde

Rijkswaterstaat Directie Waterhuis-
houding en Waterbeweging

In dit nummer van Polytechnisch tijdschrift geven drie artikelen een beeld van het onderzoek dat is verricht naar de mogelijkheden om bij onderhoud vrijkomende baggerspecie opnieuw te gebruiken. In dit eerste artikel wordt de problematiek geschetst. In twee aansluitende artikelen worden gegevens uit onderzoek naar grondmechanische en milieutechnische aspecten besproken.

Om de vaargeulen, kanalen en havens in het mondingsgebied van onze grote rivieren op de vereiste diepte te houden, dienen Rijkswaterstaat en de gemeente Rotterdam voortdurend onderhoudsbaggerwerk uit te laten voeren. Jaarlijks komt hierbij in totaal circa 20 000 000 m³ onderhoudsbaggerspecie vrij.

Verreweg het grootste gedeelte (circa 16 500 000 m³) wordt in zee teruggestort. Het betreft hier voornamelijk specie die met landinwaarts gerichte stromen vanuit zee de rivieren en de havens binnendringt en daar bezinkt. Het overige deel van de specie is afkomstig uit de meer oostelijk gelegen riviergedeelten en havens en

bestaat voornamelijk uit riviersediment. Deze specie wordt van oudsher op het land in slibdepots, de zogenaamde 'loswallen' geborgen. In het verleden zijn op deze wijze vele terreinen rond Rotterdam en langs de Oude Maas met baggerspecie opgehoogd.

Hoewel uit studies is gebleken dat het opvullen van plassen, putten en meren met baggerspecie technisch gezien tot de mogelijkheden behoort, is een dergelijke berging tot heden nog niet gerealiseerd.

meegevoerde verontreinigingen

Er wordt echter niet alleen sediment en water door de grote rivieren aangevoerd. Op de rivier wordt ook al dan niet gezuiverd afvalwater geloosd, dat met het rivierwater naar zee wordt afgevoerd.

Het merendeel van de meegevoerde verontreinigingen, zoals zware metalen, olie en bestrijdingsmiddelen, vertoont een grote affiniteit tot de fijne fracties in het slib. Het bewustwordingsproces ten aanzien van dit gebeuren en de onbekendheid van de daarmee samenhangende milieu-effecten hebben tot grote maatschappelijke weerstanden tegen alle drie vormen van berging van baggerspecie geleid.

bergingsproblematiek

In het midden van de jaren zeventig werd het de gemeente Rotterdam duidelijk, dat de steeds verder afnemende bergruimte op haar loswallen niet meer aangevuld kon worden door alleen haar eigen ambtelijke en bestuurlijke inspanningen. Wijzend op de bovenstedelijke belangen van een goed functionerende Rotterdamse haven, benaderde de havenstad het Provinciaal Bestuur van Zuid-Holland, met het verzoek de bergingsproblematiek van baggerspecie op een breder bestuurlijk draagvlak tot een oplossing te brengen. Naar aanleiding

van dit verzoek werd onder voorzitterschap van het Provinciaal Bestuur van Zuid-Holland de Stuurgroep Berging Baggerspecie (SGBB) ingesteld. Naast de provincie Zuid-Holland zijn in deze Stuurgroep vertegenwoordigd: de provincie Gelderland, het Openbaar Lichaam Rijnmond, Rijkswaterstaat en de gemeente Rotterdam.

In november 1980 heeft de SGBB het 'Voorlopig Beleidsplan Berging Baggerspecie - deel A' uitgebracht. Dit beleidsplan geeft de beleidsvoorkeuren van de betrokken overheden met betrekking tot dit terrein voor zowel de korte als de lange termijn weer. Thans bevindt dit voorlopige beleidsplan zich in een fase, waarin het commentaar van de diverse overheden en organisaties wordt verwerkt, waarna ten slotte het definitieve Beleidsplan Berging Baggerspecie zal worden uitgebracht.

gebruikstrategie

In het beleidsplan wordt meermalen gewezen op een aanpak waarbij de vrijkomende baggerspecie zo mogelijk nuttig wordt aangewend, de 'gebruiksstrategie'.

Rijkswaterstaat en de gemeente Rotterdam hebben deze richtlijn voor het beleid aangegrepen voor het instellen van een projectgroep 'Hergebruik specie'. Deze projectgroep heeft tot taakstelling 'het onderzoeken van en rapporteren over die mogelijkheden, welke kunnen leiden tot het nuttig en verantwoord toepassen van baggerspecie'. Deze projectgroep maakt deel uit van het samenwerkingsverband tussen Rijkswaterstaat en de gemeente Rotterdam inzake diverse studies over onderhoudsbaggerwerk: 'Minimalisering Kosten Onderhoudsbaggerwerk'.

gebruik van baggerspecie

Binnen dit studieveld worden de volgende mogelijkheden tot het aan-

wenden van baggerspecie (of na rijping: klei) beschouwd:

- klei ten behoeve van de grofkeramische industrie (bakstenen);
- klei ten behoeve van civieltechnische werken (dijken, wallen en ophogingen);
- klei ten behoeve van bosbouw of groenstroken;
- het vervaardigen van een basisgrondstof uit natte baggerspecie voor de kleiverwerkende industrieën (tegeis, aardewerk, bouwmaterialen enz.).

Maatschappelijk gezien brengt hergebruik van baggerspecie de volgende voordelen mee:

- de speciebergingsproblematiek wordt verlicht. Op grond van de vrijkomende hoeveelheden specie en de maximaal mogelijke afzet, kan dit alternatief slechts als een deeloplossing worden beschouwd.
- er wordt een belangrijke bijdrage geleverd tot het verminderen van het aantal ontgrondingen. Er bestaat weerstand tegen een aantal kleiwinningen, omdat daarbij landschappelijk en natuurwetenschappelijk waardevolle gebieden ernstig worden aangetast;
- bij het vinden van hergebruiksmogelijkheden zijn er nationaal-economisch gezien besparingen mogelijk.

Dit artikel beperkt zich tot de veelbelovende toepassing van gerijpte baggerspecie in dijkverbeteringswerken.

dijkverbeteringen

Om ons land tegen de invloeden van stormvloed en hoge rivierwaterstanden te beschermen, worden al jaren belangrijke zee- en rivierdijkverbeteringen c.q. -verzwaringen uitgevoerd. Ook in de toekomst - het programma loopt zeker nog tot 1995 - moeten nog honderden kilometers dijk verbeterd worden. Bij de uitvoering van deze werken zijn grote hoeveelheden grond nodig, vooral klei.

Een deel van de benodigde hoeveelheid grond is al verworven; voor het merendeel dient echter nog een winplaats te worden gevonden.

Nu al valt te voorzien dat zich hierbij problemen voor zullen doen. Hoewel er nog voldoende klei in onze bodem aanwezig is, liggen de op grond van kwaliteit en winbaarheid geschikte kleien, juist op die plaatsen waar ontgronding bezwaren oproept door aanwezige natuur- en landschapswaarden. De hoeveelheid nog te verwerven klei wordt geschat op circa 15 000 000 m³.

grondfabriek

Bij het opspuiten van baggerspecie op het land ontstaat na 1 ... 2 jaar een begaanbare kleibodem. Op de terreinen die met baggerspecie werden opgehoogd, vinden de volgende werkzaamheden plaats.

De ophoging vindt laagsgewijs plaats; per 'slag' wordt ca. 1,200 ... 1,500 m natte specie opgespoten. Het op te spuiten terrein wordt omsloten door kaden die bij de eerste slag uit materiaal afkomstig uit het terrein wordt opgeworpen. Buiten deze kaden wordt een kwelsloot gegraven, waarvan het peil door bemaling onder het plaatselijke polderpeil wordt gehouden.

Bij de volgende lagen wordt de kade steeds opgebouwd uit het inmiddels gedeeltelijk gerijpte materiaal. De tijdsduur tussen de 'slagen' wordt bepaald door de mate van rijping (ontwatering) van het eerder opgespoten materiaal. Na opspuiting dient de baggerspecie te ontwateren.

In de bodemkunde wordt deze ontwikkeling 'rijping' genoemd, omdat zich naast het ontwateren van de specie gelijktijdig een groot aantal andere bodemstructuur bepalende processen afspelen.

Gedurende de genoemde 1 ... 2 jaar rijpingstijd wordt de ontwatering bevorderd door het gefaseerd uitvoeren van een aantal ontwateringsmaatregelen.

Het is ook denkbaar de gerijpte laag 'baggerklei' niet meer af te dekken door het opspuiten van een volgende laag, maar eerst af te graven. De daarbij vrijkomende kleigrond kan worden aangewend voor diverse civieltechnische werken. Na afgraven van deze laag kan op dezelfde plaats weer worden opgespoten, zodat na circa 1,5 ... 2 jaar het proces zich kan herhalen. Dan zou een zogenaamde klei- c.q. grondfabriek zijn ontstaan.

Inmiddels hebben Rijkswaterstaat en gemeente Rotterdam een dergelijke grondfabriek gerealiseerd. Deze grondfabriek bevindt zich op de zogenaamde zandberging ten zuidwesten van de Maasvlakte. Bij optimale werking van deze grondfabriek is de maximale capaciteit ca. 500 000 m³ klei per jaar.

De klei die nu wordt geproduceerd op de Maasvlakte, is ontstaan door opspuiting met onderhoudsbagger-specie uit het Europoort- en Maasvlaktegebied. Deze klei wordt dan ook veelal 'Euroklei' genoemd.

Het is eveneens denkbaar dat specie afkomstig uit andere havengebieden, wordt verwerkt in een andere grondfabriek. Indien de verwachtingen op grond van de huidige onderzoeksresultaten, in de praktijk bevestigd kunnen worden, zal het realiseren van een tweede grondfabriek zeker volgen.

onderzoek

Het onderzoek naar de mogelijkheden van toepassing van gerijpte baggerspecie in de dijkbouw is gericht op onderhoudsbaggerspecie in het Benedenrivierengebied, en vooral op de specie afkomstig uit het specifieke Rotterdamse havengebied.

Het valt te verwachten dat ook onderhoudsbaggerspecie van elders geschikt kan zijn voor toepassing bij dijkverbeteringen. Hiernaar is echter geen onderzoek verricht; een vergelijking van de belangrijkste parameters dient hierover uitsluitsel te geven.

Voor het onderzoek werden door Rijkswaterstaat en de gemeente Rotterdam opdrachten verstrekt aan:

- het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft, voor het onderzoek naar de grondmechanische aspecten van de toepassing;
- het Adviesbureau Arnhem, voor het onderzoek naar de milieu-aspecten, die samenhangen met de toepassing van gerijpte baggerspecie in dijken. De resultaten van de beide deelonderzoeken werden in een breed overleg van bij de dijkbouw betrokken instanties en overheden besproken. Naast de gemeente Rotterdam (Gemeentewerken en havenbedrijf) en Rijkswaterstaat (Hoofddirectie, Directie Benedenrivieren en Directie Zuid-Holland) namen aan dit overleg deel:
 - Provinciale Waterstaat Zuid-Holland;
 - Provincie Gelderland;
 - de Hoogheemraadschappen Alblasserwaard, Delfland en Krimpenerwaard;
 - het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden;
 - het Centrum Onderzoek Waterkeringen.

Het onderdeel milieu-aspecten werd in een aparte werkgroep, onder voorzitterschap van de Provinciale Waterstaat Zuid-Holland, besproken.

Bij publikatie van dit artikel zijn de rapportages van het LGM en het Adviesbureau Arnhem inmiddels aan de respectieve besturen ter kennis gebracht.

Op dit moment wordt tevens een praktijkproef uitgevoerd in de Alblasserwaard, waar verbetering van een kort dijkvak (ca. 100 m) wordt uitgevoerd in Euro-klei.

In deze praktijkproef worden enerzijds de laboratoriumresultaten getoetst en anderzijds wordt een vergelijkend onderzoek tussen Euroklei en oude rivierklei onder dezelfde omstandigheden uitgevoerd. Medio 1982 zal aan de hand van de vrijkomende meetresultaten (in het bijzonder erosiegedrag en scheurvorming) een eerste rapportage over deze proef volgen.

GRONDMECHANISCHE ASPECTEN VAN DE TOEPASSING VAN GERIJPT HAVENSLIB IN DIJKBOUW

Ing. J. Dekker

project-ingenieur adviesafdeling
van het Laboratorium voor Grond-
mechanica

In dit tweede artikel over de toepassingsmogelijkheden van havenslib voor dijkbouw, wordt een breed opgezet onderzoek naar de grondmechanische aspecten toegelicht. De auteur werkte als projectleider bij het Laboratorium van Grondmechanica in Delft aan dit onderzoek mee.

De vraag of gerijpt havenslib geschikt is als materiaal voor dijkbouw zou het beste beantwoord kunnen worden door de resultaten van een uit te voeren laboratoriumonderzoek te vergelijken met vastgelegde normen voor normaal gebruikte klei. In de huidige praktijk is het echter zo, dat daarvoor (zowel voor ophogingen als voor bekledingslagen) nauwelijks gekwantificeerde normen bestaan. Wel gehanteerd worden min of meer in de praktijk gegroeide normen met betrekking tot de gradering (korrelverdeling) van het materiaal; in deze normen zouden dan impliciet overige criteria zijn vervat.

Als voorbeelden van momenteel gebruikelijke normen kunnen genoemd worden:

- het Bureau Dijkversterking Oosterschelde hanteert voor *bekledingsklei* de eis dat het percentage deeltjes < 16 μm ten minste 35 % en ten hoogste 55 % respectievelijk 30 % en 55 % moet bedragen voor toepassing op het buiten- respectievelijk op het binnentalud;
- de Provinciale Waterstaat Zuid-Holland stelt de eis dat klei voor *ophogingen* en *bekledingen* minimaal 20 % en maximaal 35 % deeltjes kleiner dan 2 μm en 40 % respectievelijk 70 % deeltjes kleiner dan 16 μm moet bevatten,
- in het Gelderse rivierengebied wordt de eis gesteld dat het percentage deeltjes < 2 μm dient te liggen tussen de 25 % en 40 %.

Verdere eisen zijn meer algemeen, zoals: 'De klei moet vast, samenhangend en taai zijn en vrijwel geheel vrij zijn van vreemde bestanddelen zoals grind, schelpen, spier, derrie en planteresten'.

Het is duidelijk dat op grond van deze normen géén objectieve toetsing kan plaatsvinden. Een beoordeling moet derhalve gebeuren door vergelijking van proefresultaten met de huidige inzichten ten aanzien van gewenste eigenschappen.

Het is in dit verband goed te memoreren, dat de verschillende momenteel gehanteerde normen verband houden met aspecten die bij de beoordeling van materiaal voor de dijkbouw, een rol behoren te spelen. Deze aspecten zijn:

- het materiaal moet goed verwerkbaar zijn;
- er moet inzicht bestaan in de te verwachten klink na verwerking;
- de dijk mag niet te veel scheurvorming gaan vertonen;
- de waterdichtheid moet voldoende zijn;
- de erosiebestendigheid van het materiaal moet voldoende zijn;
- er moet een goede grasmat op het materiaal kunnen ontstaan;
- de wrijvingseigenschappen moeten voldoende zijn;
- er moet aandacht worden geschonken aan schadelijke stoffen in het materiaal.

Bij de vraagstelling naar de geschiktheid van gerijpt havenslib als dijkmateriaal werd aanvankelijk uitsluitend gedacht aan een dijklichaam, geheel uit dit materiaal opgebouwd.

Afhankelijk van het toepassingsgebied, een bekledingsklei dan wel een ophoging, een buiten- dan wel een binnentalud enz. zullen eerder genoemde aspecten echter meer of minder belangrijk zijn. In overleg werd dan ook besloten van een ruimere vraagstelling uit te gaan, en niet op voorhand een beperking in het

toepassingsgebied te veronderstellen. Onderkend werd wel dat, indien op zo kort mogelijke termijn tot een positieve uitspraak inzake de toepasbaarheid van gerijpt havenslib zou moeten worden gekomen, een op het toepassingsgebied gebaseerde stap-voor-stap-benadering de meeste kans van slagen biedt.

In die zin werden voor de aanleg van een *nieuw* dijklichaam een aantal toepassingsgebieden onderscheiden, namelijk:

- a een dijklichaam met een kern van gerijpt havenslib en afgedekt met klei;
- b een geheel uit gerijpt havenslib opgebouwde dijk;
- c een dijklichaam met een kern van zand en afgedekt met gerijpt havenslib.

Bij *dijkverzwaringen* kan deze indeling ruwweg ook worden gehanteerd, met dien verstande dat rekening moet worden gehouden met het feit dat dijkbouwtechnisch een bepaalde constructie en materiaalkeuze meer voor de hand ligt dan een andere, bijvoorbeeld een binnenwaartse verzwaring van een kleidijk zal veelal in zand worden uitgevoerd, afgedekt met een bekleding.

In tabel I is het belang van kennis van de diverse eigenschappen per toepassingsgebied aangegeven.

Op grond van het meer of minder relevant zijn van de eigenschappen werd een meer of minder uitgebreid onderzoek vastgesteld, waarvan met een redelijke zekerheid verwacht kon worden dat de resultaten voldoende uitsluitsel zouden bieden om een duidelijke conclusie te kunnen trekken voor in ieder geval toepassingsgebied a en wellicht ook voor b.

Het onderzoek zou, bij positieve uitkomst óók toereikend moeten zijn voor het formuleren van keurings-eisen.

De verwachting bestond, dat door het stellen van eisen aan de diverse eigenschappen het mogelijk zou zijn een korrelsamenstelling voor te schrijven, waaraan het te gebruiken materiaal zal moeten voldoen.

In het onderzoek werd daarom getracht om van een redelijk aantal monsters een verband te vinden tussen de diverse eigenschappen en een aantal markante punten uit het korrelverdelingsdiagram.

Achtereenvolgens wordt hier besproken:

- de mogelijkheden van graven, laden, transporteren, lossen en verdichten (verwerkbaarheid).
- de geschiktheid van het materiaal gezien in het licht van de eisen die aan dijk materiaal zouden moeten worden gesteld (fysische eigenschappen);
- de bij gebruik voor te schrijven keuringseisen.

verwerkbaarheid

verwerkbaarheid op grond van proefresultaten

Een criterium voor de beoordeling van de verwerkbaarheid van klei vormt de consistentie-index:

tabel I. Het belang van de verschillende eigenschappen.

verschillende dijklichamen	a	b	c
verwerkbaarheid	+	+	+
samendrukbaarheid/klink	0	0	-
scheurvorming/krimp	-	0	+
waterdoorlatendheid	0	0	+
erosiegedrag	-	0	+
mogelijkheid grasontwikkeling	-	+	+
schuifweerstand	+	+	0

+ = zeer belangrijk

0 = belangrijk

- = minder belangrijk

$$I_c = \frac{W_1 - W}{W_1 - W_p} = \frac{W_1 - W}{I_p}$$

Hierin is:

I_c = consistentie-index

W_1 = vloeigrens (gewichtspersentase van de droge stof)

W = watergehalte (gewichtspersentase van de droge stof)

W_p = uitlofgrens (gewichtspersentase van de droge stof)

I_p = plasticiteitsindex ($W_1 - W_p$)

Volgens de literatuur dient deze consistentie-index tenminste 0,75 te bedragen, om het predicaat 'bruikbaar' te kunnen krijgen. Omgekeerd kan berekend worden welk watergehalte nog net aanvaardbaar is om een consistentie-index van 0,75 te verkrijgen ($\bar{W} = W_1 - 0,75 I_p$).

Teneinde een indruk te krijgen van de verwerkbaarheid van het materiaal, werd een oriënterend onderzoek uitgevoerd. Met drie boringen werd voldoende materiaal gewonnen om een serie oriënterende proeven in drievoud uit te voeren. Uit ter beschikking staande slibdepots werd besloten de boringen uit te voeren in de Hoge Nesse-polder te Zwijndrecht. Op aanwijzing werd niet dieper geboord dan tot ca. 2 m - m.v. Deze aangeboorde laag was in 1972 opgespoten.

Reeds tijdens het veldwerk kon worden geconstateerd dat het materiaal beneden ca. 1 m - m.v. onverwerkbaar zou zijn. Het uitgevoerde laboratoriumonderzoek bevestigde dit. Het materiaal bleek nog volledig met water verzadigd. In tabel II zijn per boring de relevante gemiddelde proefresultaten aangegeven van de bovenste meter. Uit dit eerste gedeelte van het onderzoek moest geconcludeerd worden, dat een ca. 7 jaar geleden volgens de destijds gebruikelijke methode opgespoten slibdepot slechts voor wat betreft de bovenste meter min of meer goed te verwerken zou zijn.

tabel II. Relevante proefresultaten van boringen in de bovenste meter.

boring	ρ	W	W_1	W_p	\bar{W}
1	0,92	62	89	45	56
2	0,83	62	97	46	59
3	0,96	58	81	34	46

ρ = droge vol. massa t/m³

\bar{W} = vereist watergehalte voor $I_c = 0,75$ (gewichtspersentase van de droge stof).

rijpingsfactor

Het in bodemkundige kringen gebruikte begrip 'rijpingsgraad' [1] willen we hier eerst toelichten. Het watergehalte is de belangrijkste parameter voor de mate waarin opgespoten bagger na verloop van tijd is gerijpt. Het is echter ook afhankelijk van het gehalte aan colloïdaal materiaal in het slib (colloïdaal is hier hoofdzakelijk lutum en organische stof). Vandaar dat het watergehalte alleen geen goede beoordeling voor het rijpingsstadium is. Gehanteerd wordt dan ook een beter begrip: de rijpingsfactor (n -cijfer). De rijpingsfactor wordt gedefinieerd als de waterhoeveelheid in grammen die door 1 gram van de lutumfractie wordt gebonden. De factor kan als volgt worden berekend:

$$n = \frac{W - p(100 - L - H)}{L + bH}$$

Hierin is:

b = de verhouding tussen het waterbindend vermogen van een bepaalde gewichtshoeveelheid organische stof tot dat van een zelfde hoeveelheid lutum ($b = \text{ca. } 3,0$);

p = het aantal grammen vocht gebonden door 1 gram niet-colloïdaal materiaal (droge grond minus lutum en organische stof); ($p = \text{ca. } 0,3$);

L = het aantal grammen lutum per 100 gram droge stof;

H = het aantal grammen organische stof per 100 gram droge stof;

Tabel III. Indeling naar het stadium van rijping.

rijpingsstadium	<i>n</i> -cijfer
ongerijpt	> 2,0
vrijwel ongerijpt	1,4 ... 2,0
half gerijpt	0,9 ... 1,4
vrijwel gerijpt	0,5 ... 0,9
gerijpt	< 0,5

W = het aantal grammen water per 100 gram droge stof.

Voor het stadium van rijping waarin het materiaal zich bevindt, wordt de indeling van tabel III gehanteerd. Een betere rijping betekent dus een lager watergehalte (*W*), een hogere consistentie-index (*I_c*) en dus een betere verwerkbaarheid.

Van het onderzochte materiaal uit het depot Hoge Nesse kon nu worden berekend dat nog géén volledige rijping heeft plaatsgevonden (*n* = ca. 0,9).

In afwijking van het voorgenomen onderzoekprogramma werd besloten om van een aantal andere depots te onderzoeken of de verhouding tussen de vloeï- en uitrolgrens enerzijds en het aanwezige watergehalte anderzijds gunstiger zou zijn.

Bestudering van de in de andere depots aangetroffen watergehalten en Atterbergse grenzen leerde, dat het (hoge) watergehalte in de Hoge Nesse polder géén uitzondering is. Ook in deze depots bleek het watergehalte hoog (ca. 50 ... 70 %).

In tabel IV is naast het gemiddelde huidige watergehalte (*W*) aangegeven het maximaal toegestane watergehalte voor een consistentieindex van 0,75 (*W*). Tevens zijn aangegeven de huidige rijpingsfactor (*n*) en het watergehalte bij volledige rijping (*n* = 0,5).

Geconcludeerd kon worden dat het materiaal havenslib, gezien de grootte van de plasticiteitsindex, bij een zeker watergehalte goed is te verwerken. In het algemeen bleek het aangetroffen watergehalte echter aan de hoge kant of te hoog. Er zijn dus

maatregelen nodig om het watergehalte van het materiaal te verlagen (langere rijpingstijden en verbeterde spuittechnieken). Voorlopig moet worden afgezien van de mogelijkheid tot het (praktisch moeilijke) bijmengen met zand, omdat dit behalve het watergehalte, de Atterbergse grenzen zelf, en de andere eigenschappen beïnvloedt.

proctordichtheid

Bij verdichting van grond speelt het vocht(water) gehalte waarbij dit gebeurt, een belangrijke rol. Het blijkt dat zowel bij heel droge als bij heel natte grond minder gunstige resultaten worden bereikt. De grootste verdichting (hoogste volumegewicht) wordt verkregen bij een tussengelegen vochtgehalte dat men 'optimaal vochtgehalte' noemt. Het vinden van dit optimale vochtgehalte (en indirect van het maximaal te bereiken volumegewicht) is het doel van de proctorproef. Daar een andere verdichtingsintensiteit een ander optimaal vochtgehalte respectievelijk volumegewicht oplevert, is de verdichtingsintensiteit bij de proctorproef gestandaardiseerd.

tabel V. Resultaten van de zeven proctorproeven

monster	proctorproef		verdichting mogelijk tot vochtgehalte van			
	<i>W</i> _{optimaal}	droge volumieke massa		2 μm	16 μm	63 μm
	gewichts %*	t/m ³	% *	% <	% <	% <
1	24,5 ... 28,5	1,45	iets > 41	18	30	80
4	22,5 ... 29,5	1,40	43 ... 45	30	59	85
7 ... 8	25,5 ... 29,5	1,41	40 ... 43	22	42	83
mengsel proevak	31,0 ... 35,5	1,28	> 51	41	69	90
51	33,0 ... 38,0	1,24	> 52	42	67	94
52	30,5 ... 36,0	1,28	> 53,5	33	64	86
53	25,0 ... 30,0	1,40	> 48	26	52	76

* gewichtsperscentage droge stof.

tabel IV. Gemiddeld watergehalte voor *W* = 0,75 bij de huidige rijpingsfactor *n* en het watergehalte bij volledige rijping *n* = 0,5

depôt	<i>W</i>	\bar{W}	<i>n</i>	<i>W_n</i> = 0,5
Maasvlakte 2	58	49	0,70	46
Oost-Abtspolder 5	72	54	1,05	47
Broekpolder 7	55	62	0,65	46
Broekpolder 9	52	48	0,60	43
Kralingen 11	55	54	0,70	48
Maasvlakte 1	63	46	0,80	46

In totaal werden zeven proctorproeven uitgevoerd, waarvan de gegevens in tabel V zijn weergegeven.

Op het eerste gezicht lijken de uitkomsten slecht met elkaar in overeenstemming. Om de resultaten goed te kunnen waarderen, is het noodzakelijk de samenstelling van het materiaal in de beoordeling te betrekken. Vooruitlopend op hetgeen nog over de granulaire analyse wordt gezegd, zijn in tabel V een aantal karakteristieke punten van het korrelverdelingsdiagram vermeld. Met behulp van deze punten kunnen voor het maximaal te bereiken droge volumegewicht en het optimale vochtgehalte wel enige conclusies worden getrokken.

Er blijkt bij een hoger optimaal vochtgehalte een lagere maximale dichtheid haalbaar. Verder blijkt naarmate het materiaal kleiiger is, het optimale vochtgehalte hoger te liggen en omgekeerd het maximaal te bereiken volumegewicht lager. Duidelijk blijkt ook, dat bij de kleiiger monsters, verdichting mogelijk blijft bij hogere vochtgehalten.

Gezien de resultaten van de proeven is het duidelijk dat ook bij volledig gereijpt materiaal géén hoge dichtheden in het werk kunnen worden bereikt. Het vochtgehalte bij volledige rijping is nog belangrijk hoger gelegen dan het voor verdichting optimale vochtgehalte.

Al met al moet geconcludeerd worden dat de proctorproef géén optimale methode is om een juiste prognose te doen over het in het werk te bereiken dichtheid. In ieder geval dient rekening te worden gehouden met de gevoeligheid van het resultaat voor de korrelsamenstelling.

verwerkbaarheid op grond van ervaringen met een in-situ-proef

Na tussentijds overleg werd besloten, de beschreven prognose op grond van de proefresultaten te toetsen aan de ervaringen met een in-situ-proef. Afgesproken werd in de polder Hoge Nesse van de bovenste meter grond een terp te maken, waarbij een laagsgewijze (ca. 0,400 m) verdichting met een bulldozer zou plaatsvinden, zie figuur 1. Voor een precieze beschrijving over de afmetingen, gevolgde werkwijze enz. zie [2].

Uit de ervaringen ter plaatse kon worden geconcludeerd dat de mogelijkheid tot ontgraven, lossen en verdichten de verwachtingen overtrof. De verwerkbaarheid was goed. Direct en enige tijd na het op hoogte komen van de terp werden hierin de nodige monsters gestoken. In tabel VI is een overzicht van de hier van belang zijnde proefresultaten gegeven. Uit het onderzoek van het



1. Een terp in de polder Hoge Nesse, opgebouwd uit lagen van de bovenste meter grond uit het proefvlak.

proefvak kon het volgende worden geconcludeerd:

- De verwerkbaarheid van het in het proefvak gebruikte materiaal bleek goed.
- De gemiddelde droge volumieke massa in het proefvak blijkt dan 0,96 tegen 0,89 t/m³ oorspronkelijk, zodat van een geringe verdichting sprake is. Dit klopt vrij goed met het resultaat van een kubering van het ge-

maakte proefvak en de ontgraving in de put.

- Het gemiddelde vochtgehalte in het proefvak (61,5%) blijkt ca. 5% lager dan het oorspronkelijke. Dit kan overeenkomstig de verwachting worden genoemd. Het is namelijk redelijk te veronderstellen dat door de verwerking een afname van het vochtgehalte in de orde van 5 ... 10 % plaatsvindt (verdamping).

- Een belangrijke uitkomst is het feit dat de consistentie-index I_c bij verwerking nauwelijks hoger bleek dan 0,50. Dit betekent dat de verwerking bij een hoger vochtgehalte mogelijk is dan op grond van de literatuur

tabel VI. Proefresultaten van de in-situ-proef

monster	natte volumieke massa	W_{situ}	W_1	W_p	I_c
	t/m ³	gew. % droge stof			
gemiddelde waarde in aanmerking komende monster proefvak	1,55	61,5	87,8	39,1	0,55
gemiddelde waarde in aanmerking komende monsters vooronderzoek	1,48	66,3	91,9	40,8	0,50

mocht worden verwacht (eerder werd immers uitgegaan van een vereiste I_c van 0,75). De gemiddelde rijpingsfactor werd berekend op 0,74 (classificatie; vrijwel gerijpt).

- Het geringe droge volumegewicht dat na verdichting werd bereikt, stemt gedeeltelijk goed overeen met datgene wat op grond van de proctorproef op de gemengde monsters uit het proefvak werd verwacht. Op grond van de proef zou namelijk geconcludeerd worden, dat bij een vochtgehalte $> 50\%$ nauwelijks een droog volumegewicht van $1,0 \text{ t/m}^3$ zou worden gehaald. Anderzijds werd tijdens de proef bij een vochtgehalte van ca. 50% geconstateerd dat het materiaal sterk begon te kleven; hiervan bleek in praktijk niets.

eisen aan het watergehalte voor een goede verwerking

Naast de nog te behandelen kwaliteitseisen (vloei- en uitrolgrens) dient het watergehalte in situ niet te groot te zijn. Indien een eis voor de verwerkbaarheid wordt opgenomen, kan dit ofwel de consistentie-index I_c ofwel de rijpingsfactor n zijn. Op grond van de ervaringen opge-

daan in het proefvak Hoge Nesse, zou voor toepassing in geval a, een consistentie-index kunnen worden voorgeschreven van $I_c > 0,60$. Afhankelijk van de samenstelling van het materiaal zal het vochtgehalte in dit geval van $55 \dots 60\%$ variëren. Indien de rijpingsfactor als criterium zou worden gebruikt, werd berekend dat in dit geval moet worden voorgeschreven $n < 0,75$.

Bij toepassing in de toplaag bij geval b dient (hierop wordt nog teruggekomen) op andere grond dan verwerkbaarheid, uitsluitend volledig gerijpt materiaal te worden gebruikt, dus met $n < 0,5$. Als in plaats van de rijpingsfactor, de consistentie-index als keuringseis wordt opgevoerd, dient de eis te worden gesteld $I_c > 0,95$. Het vochtgehalte zal in dit geval $40 \dots 45\%$ bedragen.

kwaliteitseisen voor een goede verwerking

In de figuren 2 en 3 zijn de verbanden aangegeven tussen enerzijds de lutum- respectievelijk de zandfractie en anderzijds de vloei- en uitrolgrens W_l en W_p . Het verband werd steeds lineair verondersteld en werd berekend met de methode van de kleinste kwadraten. In het algemeen moet wel gezegd worden dat de betrouwbaarheid van de gevonden rela-

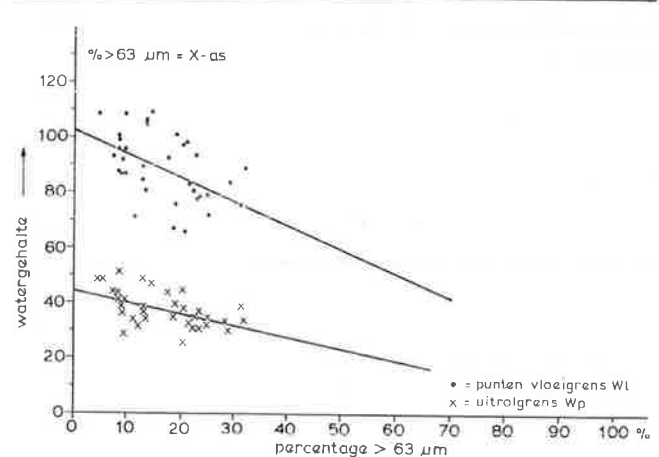
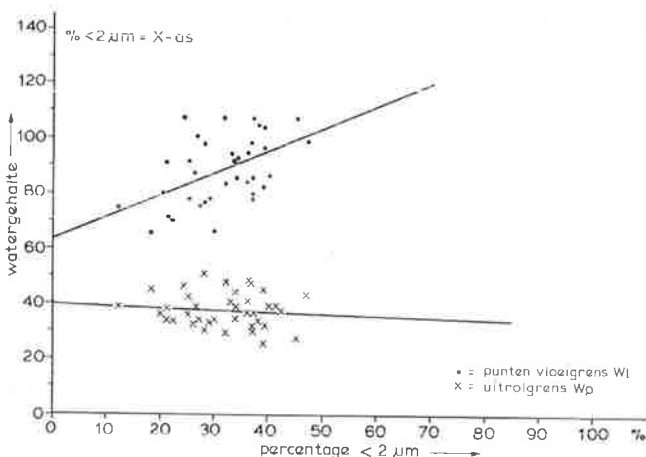
ties laag bleek te zijn (grote spreiding).

Indien ervan wordt uitgegaan, dat materiaal zal worden toegepast met $n < 0,75$, zal het vochtgehalte op maximaal ca. 60% liggen. Om tijdens de uitvoering van werkzaamheden verzekerd te zijn dat het materiaal niet door de weersomstandigheden onverwerkbaar wordt, dient aan de vloeigrens de eis te worden gesteld $W_l > 60\%$. Het lijkt redelijk de eis te stellen dat de vloeigrens ten minste 10% boven dit vochtgehalte moet liggen. Als zo een vloeigrens wordt vereist van $W_l > 70\%$, kan in de figuur 2 en 3 worden afgelezen, welke eisen in dit geval moeten worden gesteld aan de lutum- en zandfractie. Eis: het percentage $< 2 \mu\text{m}$ minimaal 8% en het percentage $> 63 \mu\text{m}$ maximaal 37% .

Wetende dat de verwerkbaarheid bij een lager vochtgehalte dan de uitrolgrens problemen kan geven, moet het volgende worden opgemerkt.

Volledig gerijpt materiaal heeft zoals gezegd een minimaal vochtgehalte van ca. 40% . Ervan uitgaande dat het vochtgehalte van het toe te passen materiaal altijd nog wel een aantal procenten hoger zal liggen dan deze 40% , anderzijds dat door de verwerking een afname in vochtge-

3. Het verband tussen zandfractie en de vloei- en uitrolgrens.



halte kan worden verwacht in de orde van 5 %, zou aan de uitrolgrens de eis kunnen worden gesteld $W_p < 40$ %.

In figuur 2 en 3 kan worden afgelezen tot welke eisen dit aan de lutum- en zandfractie leidt. Eis: het percentage $< 2 \mu\text{m}$ is niet van toepassing en het percentage $> 63 \mu\text{m}$ minimaal 9 %.

fysische eigenschappen;

samendrukbaarheid/klink

Kennis van de te verwachten klink is nodig in verband met de aan te brengen overhoogte van het materiaal. Een bepaling van de te verwachten klink (ook voor echte kleidijken) blijkt niet goed mogelijk; een benaderende oplossing is het klinkproces te beschouwen als een zuiver samendrukingsproces. Daarom werden de samendrukkingseigenschappen van het materiaal bepaald. Er werden drie samendrukkingproeven uitgevoerd. Hiertoe werd geroerd materiaal eerst verdicht tot nagenoeg de proctordichtheid met ongeveer het vochtgehalte bij volledige rijping.

De resultaten van de proeven in ogenschouw nemend, zouden we kunnen zeggen dat een gemiddelde samendrukingsconstante (C' -waarde) van 30 mag worden verondersteld.

Een globale berekening naar de samendrukking van een 5 m hoog dijklichaam door alleen zijn eigen gewicht (klink) leert, dat gerekend moet worden op ca. 200 mm, dus 4% van de dikte (hierbij werd dus uitgegaan van een verdichting bij aanleg tot 100 % van de proctordichtheid). Rekening houdend met nog enige klink ten gevolge van het ontstaan van capillaire spanningen in het materiaal zou een overhoogte voor klink van ca. 5 % aan te bevelen zijn.

Overigens is er van een zuiver samendrukingsproces alleen sprake indien het materiaal freatisch verzadigd is (dus onder de waterspiegel is gelegen). Bij een goede verdichting en geringe hoogte van het (relatief lich-

te) dijklichaam zal de klink in feite meer worden bepaald door verdamping en het ontstaan van capillaire spanningen.

Gezien het betrekkelijk geringe belang van dit onderdeel van het onderzoek werd geen relatie gezocht met de korrelsamenstelling.

Gebruik van gerijpt havenslib is op grond van het aspect samendrukbaarheid/klink in alle toepassingsgebieden verantwoord. Bij gebruik van vrijwel gerijpt materiaal zal met een hoger klinkpercentage rekening moeten worden gehouden.

scheurvorming

Over de mate waarin het materiaal aan scheurvorming onderhevig kan zijn, geven zowel de krimpgrens als het organische stofgehalte informatie.

krimpgrens

Indien klei aan uitdroging onderhevig is, zal in eerste instantie naast een afname in gewicht, een afname in volume plaatsvinden. De volumeverkleining houdt gelijke tred met het waternverlies. Bij een zeker watergehalte echter komt er een punt waarop het gewicht nog wel afneemt, maar waarbij het volume gelijk blijft. Dit watergehalte wordt *krimpgrens* genoemd. Een goed inzicht tussen de krimpgrens en het scheurgedrag van normaal afgezette kleien is niet bekend.

Een wetenschappelijke aanpak voor het krimpprobleem bij havenslib zou dus in een meer algemeen onderzoek moeten worden geplaatst. Daar dit niet tot de mogelijkheden behoorde, werd een wat pragmatischer benadering gevolgd.

Een aanduiding voor de te verwachten krimp van een kleilichaam is het verschil tussen het watergehalte bij verwerking en het watergehalte bij de krimpgrens. Indien dit verschil < 10 % is, zijn (volgens praktijkervaringen bij normale kleien) nauwelijks krimpscheuren te verwachten.

Er in eerste instantie van uitgaande dat uitsluitend volledig gerijpte specie zal worden gebruikt, zou als norm kunnen worden gehanteerd het verschil tussen het watergehalte bij volledige rijping ($W_n = 0,5$) en het watergehalte bij de krimpgrens W_k , in het vervolg krimpindex genoemd.

In het proefvak Hoge Nesse, waar qua krimp gunstige ervaringen zijn opgedaan (géén krimpscheuren), draagt deze krimpindex ca. 18 %. Gesteld zou kunnen worden dat deze 18 % in ieder geval acceptabel is. In werkelijkheid is het watergehalte bij verwerking in de Hoge Nesse polder zelfs nog hoger geweest dan overeenkomstig volledige rijping.

In de gevallen a en b zijn er trouwens argumenten om het probleem van mogelijke krimp te relativiseren. Er is namelijk sprake van een geheel uit doorlatend materiaal opgebouwd dijklichaam. Bovendien wordt het dijklichaam vaak voorzien van een steenbekleding tot ontwerppeil en daarboven van een grasmat. Nog een ander aspect is, dat verwacht moet worden dat zich in het dijklichaam een freatische lijn instelt op ongeveer de normale hoogwaterstand. Boven dit niveau kan men rekenen op een capillaire zone van enige meters waarin géén uitdroging en scheurvorming behoeft te worden verwacht. De krimp moet men uitsluitend verwachten in een oppervlakkige zone boven de steenbekleding en ter plaatse van de kruin en binnentalud. Hier zal echter de aanwezigheid van de grasmat een veel betere vocht-huishouding garanderen, wat de mate van brokknenvorming door krimp gunstig zal beïnvloeden.

Mede gezien deze opmerkingen over de constructie van het dijklichaam bestaat de mening, dat het op grond van het aspect van de krimpindex verantwoord is in geval a gerijpt, maar ook vrijwel gerijpt havenslib ($n < 0,75$) toe te passen met een krimpindex < 18 %.

Bij toepassing in geval b wordt gesteld dat de toplaag uit volledig ge-

rijpt materiaal moet bestaan ($n < 0,5$) eveneens met een krimpindex $< 18\%$.

Toepassing in geval c is vooralsnog niet aanvaardbaar.

Indien deze 18% als norm wordt gehanteerd, blijkt uit de gevonden relaties tussen de krimpindex en de korrelsamenstelling, dat de volgende eis moet worden gesteld: percentage $< 2\ \mu\text{m}$ maximaal 40 % en het percentage $> 63\ \mu\text{m}$ maximaal 22 %.

gehalte organische stof

Zonder dat dit als norm vastligt, wordt als toelaatbaar percentage organische stof in klei soms 5% geaccepteerd. Zoals uit de onderzoekresultaten blijkt, ligt het percentage organische stof in het onderzochte havenslib vaak belangrijk hoger. Uit extrapolatie van deze resultaten kan men echter concluderen, dat bij volledige rijping het gehalte organische stof lager is dan 5%.

In oppervlakkig gelegen lagen van de dijk (bovenste decimeters) zal ook bij toepassing van volledig gerijpt slib door beluchting het gehalte organisch materiaal nog verder afnemen. Een prognose van het scheurgedrag ter plaatse is moeilijk. Indien echter volledig gerijpt materiaal wordt gebruikt, is het probleem waarschijnlijk wel teruggebracht tot de proporties van het krimpprobleem van normaal afgezette kleien.

Indien ook materiaal zou worden toegepast dat niet volledig is gerijpt, moet rekening worden gehouden met een hoger percentage organische stof. Als dit materiaal uitsluitend in een kern wordt verwerkt, zullen op de lange duur slechts enige gewichtsprocenten organisch materiaal verdwijnen, waardoor in principe maar een geringe vergroting van het poriënvolume ontstaat. Doordat deze organische stof in havenslib zeer fijn verdeeld is, zal ze bij afbraak géén grote holle ruimte achterlaten. Resumerend kan worden gezegd, dat toepassing van geheel of vrijwel geheel gerijpt havenslib vanuit het

aspect van de hoeveelheid organisch materiaal in geval a en in geval b (de kern) verantwoord is. Voor toepassing in de toplaag van geval b dient echter volledig gerijpt materiaal te worden gebruikt. Toepassing in geval c is, vanwege het grote belang van de waterdichtheid van de bekleding enerzijds en de nog gebrekkige kennis van het krimpfenomeen anderzijds, nog niet aanvaardbaar.

De volgende eisen moeten worden gesteld: geval a en kernmateriaal geval b maximaal 7 % organisch materiaal, toplaag geval b maximaal 5 % organisch materiaal.

waterdichtheid

Vanwege het grote belang van dit aspect werd een vrij groot aantal waterdoorlatendheidsproeven uitgevoerd. De resultaten van de proeven wijzen erop, dat het materiaal in verdichte toestand in hoge mate on-

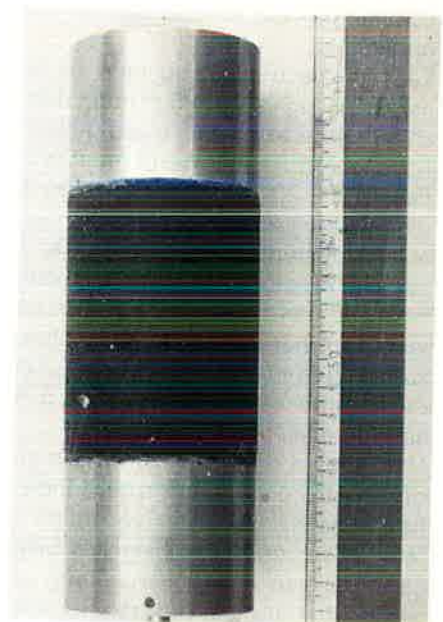
doorlatend is, vergelijkbaar met de normaal in de dijkbouw gebruikte kleien. De gemiddelde doorlatendheidsfactor (k -waarde) van veertien proeven werd vastgesteld op $1 \dots 3 \times 10^{-8}$ cm/s.

Gezien de uitkomst van deze proeven werd niet verder gezocht naar een afhankelijkheid van de korrelsamenstelling. De conclusie is dat uit het oogpunt van waterdichtheid géén beperkingen aan de toepassingsgebieden behoeven te worden gesteld.

erosiegevoeligheid

Erosie van een dijktaald door snelstromend water is een belangrijke factor die aanleiding kan zijn tot het bezwijken van een dijklichaam. Reeds bij aanvang van het onderzoek was bekend dat een onderzoek naar erosiegevoeligheid van taluds erg moeilijk zou zijn [3]. De erosiegevoeligheid werd onderzocht in een speciaal voor een eerder onderzoek vervaardigd erosietoestel, waarmee het proces van snelstromend water over de grond op een redelijk goed gecontroleerde manier wordt nagebootst [4].

Het onderzoek werd op vergelijkende



4. Vergelijkende proeven met monsters bekledingsklei uit de Oosterschelde (links) en gerijpt havenslib (rechts) inzake erosiegevoeligheid.

wijze uitgevoerd, de resultaten van een aantal proeven op goede havenslibmonsters werden vergeleken met de proefresultaten van echte kleimonsters uit het Oosterscheldegebied en uit de Betuwe. Vergelijking van de resultaten leerde dat havenslib beter bestand bleek tegen erosie dan de overige kleien, figuur 4. Verder bleken de verschillen tussen de slibmonsters onderling gering, maar wel afhankelijk van de mate van rijping te zijn.

Gezien de complexiteit van de materie en de beperkte ruimte wordt hier niet verder ingegaan op de resultaten van literatuurstudie en onderzoek. De geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar literatuuropgave [5 en 6]. Eén aspect dient echter nog wel te worden genoemd: het belang van een grasmat. Steeds weer blijkt dat aanwezigheid van een goede grasmat van het grootste belang is.

Op grond van het inzicht zoals dit momenteel ten aanzien van erosie bestaat, wordt gemeend dat:

- voor geval a gebruik van gerijpt of vrijwel gerijpt havenslib aanvaardbaar is;
- voor geval b de aanleg van een proefvak noodzakelijk is, in ieder geval moet het materiaal in de toplaag volledig gerijpt zijn en dient de zekerheid te bestaan dat zich een goede grasmat kan ontwikkelen;
- voorgeval c toepassing van havenslib vooralsnog niet aanvaardbaar is. De ervaringen die bij een proefvak zouden kunnen worden opgedaan, lijken van groot belang.

ontwikkeling grasmat

Uit het oogpunt van beperkte krimp en erosie, is de vorming van een goede grasmat op het materiaal zoals gesteld een zeer belangrijk punt.

In een aansluitend artikel wordt nader ingegaan op de mogelijkheid van het tot ontwikkeling komen van een goede grasmat.

wrijvingseigenschappen

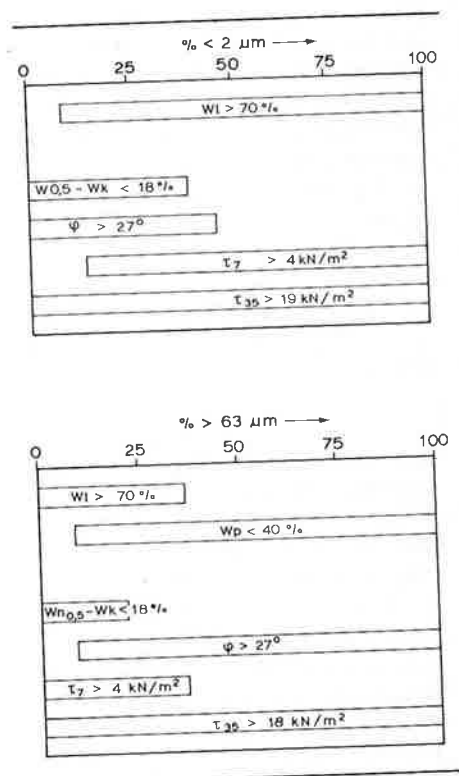
De wrijfingswaarden, de hoek van inwendige wrijving ϕ en de cohesie c , werden bepaald met de langzame celproef. Ter illustratie van de orde van grootte der ϕ - en c -waarden zij hier vermeld dat de gemiddelde waarde in een depot (Maasvlakte vak 9) werd vastgesteld op: $\phi = 27^\circ$, $c = 3 \text{ kN/m}^2$.

Opvallend was echter de grote spreiding in resultaten, vooral de cohesie vertoonde een zeer grote spreiding. Uitgaande van de eerder uitgesproken veronderstelling ten aanzien van normale kleien, dat in de gradering impliciet de overige eigenschappen zouden zijn vervat, werd getracht in deze richting enige samenhang te ontdekken.

Hoewel niet mooi gecorreleerd bleek zeker een tendens aanwezig dat naarmate de lutumfractie groter is, de cohesie hoger wordt. Verder bleek de tendens dat naarmate de lutumfractie kleiner wordt (de silt- en zandfractie groter) de ϕ -waarde toeneemt. Omdat in het algemeen bij een hogere cohesie een lagere ϕ -waarde wordt gemeten, werd ook dit nagegaan. Hieruit kon heel globaal worden geconcludeerd, dat indien géén cohesie in het materiaal wordt gemeten, de ϕ -waarde gemiddeld ca. 30° bedraagt. Bij een cohesie van bijvoorbeeld 10 kN/m^2 bedraagt de ϕ gemiddeld ca. 21° .

Op zichzelf zijn deze waarden niet vreemd; ter vergelijking zij hier vermeld dat in het Hollands rivierengebied de cohesie- en ϕ -waarde van de oppervlaktekleilaag gemiddeld ca. $4,5 \text{ kN/m}^2$ en 22° bedragen. Ook ten aanzien van de vereiste wrijvingseigenschappen kunnen geen goed onderbouwde eisen worden gesteld. Een aantal benaderingen werden gevolgd.

Een minimale eis die gesteld moet worden, is dat de hoek van inwendige wrijving (de ϕ -waarde) groter is dan de hoek van een talud 1:2, zijnde 27° (dit talud wordt soms als uiterste in de dijkbouw gerealiseerd). De nog



5. Keuringseisen voor lutum- en zandfractie.

aanwezige cohesie moet in dit geval als reserve gelden. Deze eis $\phi > 27^\circ$ leidt tot de volgende eisen aan de lutum- en zandfractie: het percentage $< 2 \mu\text{m}$ maximaal 47 % en het percentage $> 63 \mu\text{m}$ minimaal 9 %.

Een andere benadering is de vergelijking met normaal gebruikte materialen in de dijkbouw, zand en (natuurlijk afgezette) klei. De wrijvingseigenschappen van deze materialen kunnen als volgt worden aangenomen:

zand $\phi = 30^\circ$	$c = 0$
klei $\phi = \text{ca. } 22^\circ$	$c = 4,5 \text{ kN/m}^2$

Het blijkt dan dat bij lage korrelspanningen (σ) in de klei en bij hogere korrelspanningen in het zand een grotere schuifweerstand (τ) bereikt wordt (N.B. $\tau = c + \sigma \text{ tg } \phi$).

Als eis aan het slib is nu gesteld een τ bij een lage σ en een hoge σ die ten minste gelijk is aan de laagste schuifweerstand die geleverd zou kunnen worden door zand of klei, dat wil zeg-

gen bij $\sigma = 7 \text{ kN/m}^2$ is τ vereist 4 kN/m^2 en bij $\sigma = 35 \text{ kN/m}^2$ is τ vereist 19 kN/m^2 . Het een en ander leidt dan tot de volgende eisen aan de korrelverdeling:

$\% < 2 \mu\text{m} > 14 \%$ (bij $\sigma = 7 \text{ kN/m}^2$)

$\% < 2 \mu\text{m}$ geen eis (bij $\sigma = 35 \text{ kN/m}^2$)

$\% > 63 \mu\text{m} < 37 \%$ (bij $\sigma = 7 \text{ kN/m}^2$)

$\% > 63 \mu\text{m}$ geen eis (bij $\sigma = 35 \text{ kN/m}^2$)

definitieve formulering eisen korrelverdeling

Alle eerder genoemde eisen aan de lutum- en zandfractie zijn in figuur 5 in twee diagrammen aangegeven. Duidelijk blijkt dat deze eisen hier en daar strijdig zijn: er zullen dus concessies moeten worden gedaan, ten-einde algemene eisen te kunnen stellen. Het diagram met betrekking tot het lutumgehalte overziende, kan men zonder concessies te doen, het vereiste *lutumgehalte* stellen op 20 ... 40 %.

Uit het diagram met betrekking tot het zandgehalte blijkt dat zonder concessies te doen, slechts een kleine marge voor de zandfractie beschikbaar zou zijn, namelijk van 9 ... 22 %. Het een en ander zou, gezien de onderzochte monsters tot een groot afkeuringspercentage leiden. Omdat toepassing als bekledingsgrond op een zandkern vooralsnog niet aanvaardbaar is, zou aan de krimp grens wel een concessie kunnen worden gedaan. Deze concessie lijkt te meer verantwoord, omdat de gestelde norm aan de krimp grens wellicht aan de strenge kant is.

Resumerend wordt een vereist *zandgehalte* voorgesteld van 9 ... 25 %.

conclusies

- Op grond van de resultaten van het uitgevoerde onderzoek is het vanuit grondmechanisch oogpunt verantwoord, om in een aantal toepassingsgebieden in de dijkbouw gerijpt of vrijwel gerijpt havenslib te gebruiken.

- Deze toepassingsgebieden zijn:

- een dijklichaam met een kern van havenslib en afgedekt met klei;
- een geheel uit havenslib opgebouwde dijk.

- Toepassing van gerijpt havenslib als afdeklaag op een dijklichaam met een kern van zand is vooralsnog niet aanvaardbaar. Een vervolgstudie of onderzoek naar vooral krimp- en erosieaspecten is noodzakelijk.

- Vanwege het feit dat de aspecten van erosie en krimp in theoretische zin nog niet volledig worden doorgrond, is de aanleg van een proefvak noodzakelijk. Het belang hiervan geldt vooral de toplaag van geval b en zal ook zeker een beoordeling van geval c beter mogelijk maken.

- Bij toepassing van gerijpt havenslib dienen de volgende kwaliteitseisen te worden gesteld:

percentage $< 2 \mu\text{m}$ 20 ... 40 %

percentage $> 63 \mu\text{m}$ 9 ... 25 %

percentage organische stof maximaal 7 % voor toepassing in geval a en in geval b gedeeltelijk (de kern)

percentage organische stof maximaal 5 % voor toepassing in geval b gedeeltelijk (de bekleding).

- De volgende verwerkbaarheidseisen dienen te worden gesteld:

- voor materiaal in de kern $I_c > 0,6$ of $n < 0,75$

- voor materiaal in de toplaag $I_c > 0,95$ of $n < 0,50$ (géén echte verwerkbaarheidseis).

- De hier geformuleerde eisen moeten worden beschouwd als voorlo-

per. Het verdient aanbeveling in de toekomst gecentraliseerd, zoveel mogelijk gegevens met betrekking tot grondmechanische eigenschappen en karakteristieke parameters te verzamelen. Uitgaande van een gestandaardiseerde methode voor het vaststellen van het gehalte lutum en organische-stof dienen te zijner tijd opnieuw de nodige correlaties te worden gelegd, waarna indien nodig aanpassing van de eisen kan volgen.

literatuur

1. Willet J.R. ir.: 'Bodemfysisch gedrag van opgespoten baggerspecie uit de Rotterdamse havens'. De Ingenieur, Bouw- en Waterbouwkunde 1, 1972.
2. 'Voorstudie over de technische aspecten bij de toepassing van gerijpt havenslib in de dijksbouw'. Rapport CO-247310/52, juli 1980. Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
3. 'Inleidende overwegingen met betrekking tot erosie van kleitaluds door snelstromend water', Rapport CO-235360/9, augustus 1976. Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
4. 'Erosiegevoeligheid van kleibekledingen van dijken', Rapport CO-235360/1 oktober 1978. Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
5. 'Toepassing 'gerijpt' havenslib in de dijksbouw'. Rapport CO-247310/106, juni 1981. Laboratorium voor Grondmechanica, Delft.
6. Mitchell James K.: 'Fundamentals of Soil Behavior', University of California, Berkeley, 1976.

MILIEU-ASPECTEN BIJ TOEPASSING VAN 'GERIJPTE' BAGGER-SPECIE IN DIJKBOUW

J.R. Willet
J.C. Cavelaars

Heidemij, Adviesbureau Arnhem

Nadat in de twee voorgaande publikaties de wenselijkheid van gebruik van baggerspecie en grondmechanische eigenschappen zijn belicht, worden in dit artikel de invloeden op het milieu besproken. Bij een studie is nagegaan in hoeverre de verontreiniging van baggerspecie tot schadelijke invloeden op het milieu leiden bij gebruik van gerijpte specie voor dijkverzwaring.

Baggerspecie uit verschillende delen van het Rotterdamse havengebied werden in deze studie betrokken en vergeleken met andere speciesoorten. Uitgegaan is van bestaande gegevens; er werd geen nieuw of aanvullend onderzoek verricht. De voorhanden zijnde gegevens bleken zo uitgebreid, dat algemene conclusies met voldoende werkelijkheidswaarde mogelijk waren.

Hoewel de studie van algemene opzet was, werd deze vooral toegespitst op een aan te leggen proef in een te verbeteren dijkgedeelte van de Alblasserwaard. De studie bepaalde zich tot de zware metalen, olie en organische chloorverbindingen. Andere aspecten bleken geen rol van betekenis te spelen.

samenstelling van baggerspecie

granulaire samenstelling, organische stof en kalk

Uitgebreide monstercampagnes in de jaren '70 ... '80 resulteerden in de globale gemiddelde samenstelling die in tabel I is weergegeven [16 en 8]. Van deze korrelgroottefracties zijn de

tabel I: Bodemkundige samenstelling van baggerspecie (gem.)

<2 μ m*	<16 μ m	<50 μ m	org. stof	CaCo ₃
26 %	45 %	78 %	8 %	15 %

*1 μ m = 0,001 mm

gehalten uitgedrukt in gewichtspercenten met aftrek van kalk en humusachtige bestanddelen. De cijfers geven gemiddelden aan van opgespoten baggerspecie. De variatie van het gebaggerde materiaal kan groot zijn, afhankelijk van de baggerplaats [1].

belangrijke elementen met betrekking tot de bodemvruchtbaarheid

Tabel II geeft een overzicht van de gehalten aan belangrijke nutriënten zoals deze werden geanalyseerd in monsters uit bestaande loswallen [8 en 20].

Gezien de granulaire samenstelling, en de gehalten aan voedingsstoffen en aan organische stof, kan de gerijpte baggerspecie gekarakteriseerd worden als een zeer vruchtbare grond.

De in het slib aanwezige verontreinigingen geven geen vermindering van de gewasgroei [20]. Wel is er een mogelijke invloed op de kwaliteit van de gewassen en daarmee ook de gebruiksmogelijkheden daarvan. We komen hier nog op terug. Ecologisch-bodemkundig gezien is baggerspecie vergelijkbaar met zeer jonge estuariumklei, dat wil zeggen klei-afzettingen uit het grensgebied van rivier en zee. Normaal zullen zich daarop planten ontwikkelen die op dergelijke afzettingen thuishoren (voedselrijke ruigten en bossen). Meer naar het oosten gelegen delen van het riviergebied bezitten kleisoorten die in eigenschappen min of meer afwijken van havenslib door afzet-

tingsmilieu (zoet) en ouderdom. Indien in het programma van eisen voor een bepaald dijkgedeelte wordt gesteld, dat uit landschappelijk en ecologisch oogpunt zich in de loop van de tijd weer een 'streekeigen' vegetatie zal moeten ontwikkelen, dan is afdekking met een laag oorspronkelijke bovengrond van het te verbeteren dijkgedeelte aan te bevelen.

zware metalen

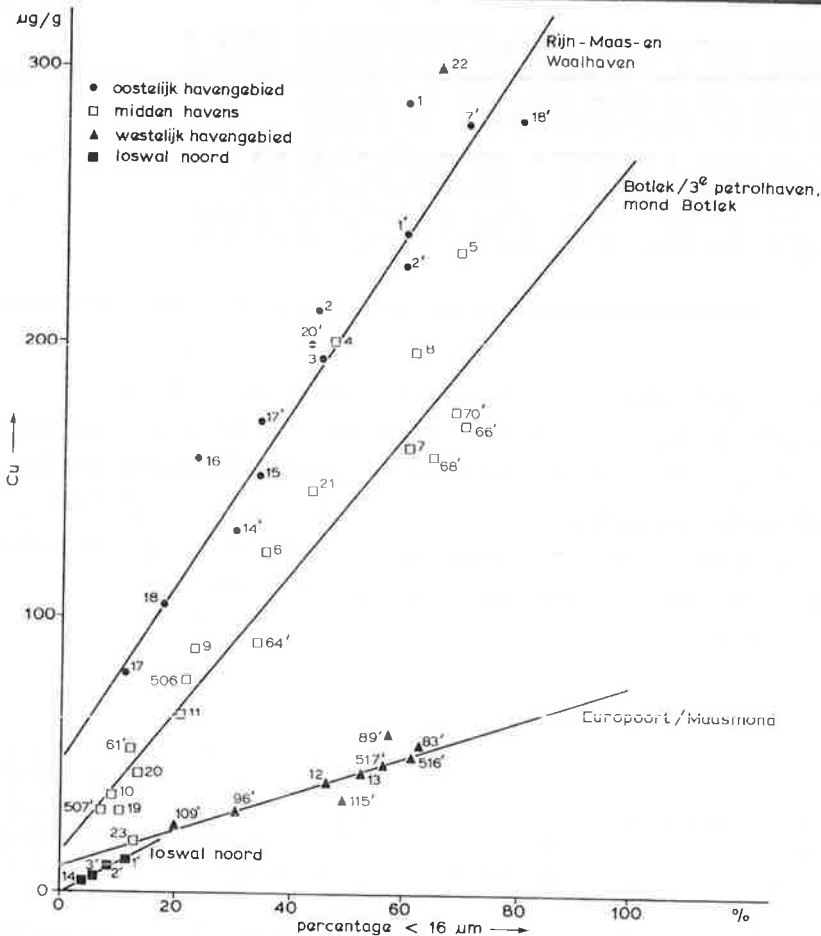
Het gehalte aan zware metalen in baggerspecie kan, al naar gelang de baggerlocatie, sterk wisselen. In het algemeen valt een vermindering van de metaalgehalten te constateren in stroomafwaartse richting.

De zware metalen bevinden zich grotendeels in de kleine korrelfractie van het slib, zowel in geprecipiteerde, als

tabel II: Gehalten aan plantenvoedende stoffen in baggerspecie

pH-KCl		7,5
Fosfaat: P-getal*	mg/100 g	0,7
P-Al	mg/100 g	80
P-totaal	mg/100 g	570
Kalium: K-getal	mg/100 g	45
K-gehalte	mg/100 g	50
K-totaal	mg/100 g	190
Stikstof: N-water	mg/100 g	9
N-totaal	mg/100 g	360
MgO	mg/100 g	100

* Het P-getal is de hoeveelheid fosfaat, vrij gemaakt door schudden van een grondmonster met water bij 60 °C. Het geeft een maat voor direct voor de plant opneembare fosfaat.



hoogst. Verder naar het Westen nemen de gehalten aan zware metalen, onder meer door vermenging van zeeslib, af²⁾.

In de uiterwaarden langs de diverse Rijn-armen komen wisselende gehalten aan zware metalen voor. De gehalten in het sediment dat tussen de kribben wordt afgezet, liggen, evenals die van vers slib uit de rivierbedding, in dezelfde orde van grootte als baggerspecie uit de oostelijke havens.

Tabel IV laat gehalten zien aan zware metalen in rivierwater, in het bodemwater van opgespoten, gerijpte baggerspecie en in het slotwater op de loswal in de Broekpolder [19]. Het gaat in deze polder om specie die minimaal 10 en maximaal 20 jaar vóór het onderzoek is opgespoten, met een totale uiteindelijke laagdikte van ongeveer zeven meter. De lage gehalten aan zware metalen in het poriënwater, in vergelijking met de gehalten in bodem-(gerijpte baggerspecie-)monsters (tabel III), duiden op een zeer geringe mobiliteit van de zware metalen.

Eventuele kans op uitspoeling en verontreiniging van de omgeving kan op

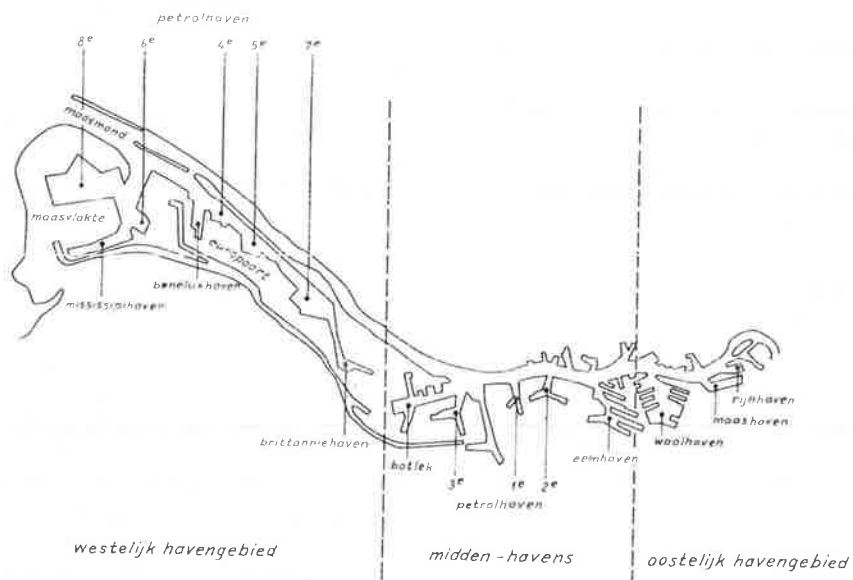
in geadsorbeerde vorm [2-16]. Uit verschillende onderzoeken (o.a. [18]) blijkt, dat het gehalte aan zware metalen veelal evenredig is met het gehalte aan bodemdeeltjes < 16µm. De helling van de rechte, die het verband aangeeft tussen het gehalte aan een bepaald zwaar metaal en een bodemdeeltje < 16µm¹⁾ hangt af van de mate waarin rivierslib vermengd is met 'schoon' zeeslib. Zie figuur 1, waarin voor verschillende Rotterdamse havengebieden het gehalte koper is gegeven, in relatie tot het gehalte aan bodemdeeltjes < 16µm.

Tabel III geeft een overzicht van de zware metaalgehalten van bodem-materiaal, zowel in de rivieren, in de havens, als in 'loswallen' (spuitdepots) en in rivierklei-afzettingen. De indeling van het Rotterdamse havengebied blijkt uit figuur 2.

In de meest oostelijk gelegen Rotterdamse havens wordt in hoofdzaak Rijnsediment afgezet. Hier zijn de gehalten aan zware metalen het

1. Kopergehalten in baggerspecie uit het Rotterdamse havengebied als functie van het % < 16µm.

2. Situatie van de Rotterdamse havens.



1) Gehalten t.o.v. kalk- en humustrijke, minerale stof.

2) Puntlozingen kunnen plaatselijk afwijkingen van het algemene beeld veroorzaken.

tabel III Verontreinigingen in bodemslib op loswallen en in rivierklei (gehalten in mg per kg droge stof) Gemiddelde waarden*

monsterplaats	bron	olie	HCB	EOCL	PCB	zink	koper	chrom	lood	cadmium	nikkel	kwik	arsen	nadere omschrijving
<i>bodemslibmonsters</i>														
benedenrivieren ('79)	[6]	2157	0,10	4,67	3,84	1352	196	540	285	23,1	58,8	5,25	34,8	Nieuwe Merwede Oude Maas Hollands Diep
Oostelijk havengeb. ('79)	[6]	2847	0,05	4,35	2,68	1481	200	414	304	23,4	56,9	4,04	33,5	Zie figuur 3
Midden havengeb. ('79)	[6]	7875	0,08	6,76	11,96	757	113	260	174	12,5	36,5	4,41	25,2	
Westelijk havengeb. ('79)	[6]	761	0,03	1,58	1,21	274	33	130	69	3,5	22,5	0,82	15,3	
Ketelmeer (oost) ('75)	[16]	—	—	—	—	1900	325	820	400	31	80	10	—	
Ketelmeer (mid.) ('68)	[2]	—	—	3,0	—	701	144	88	122	1	38	2	10	
IJsselmeer ('74)	[14]	—	—	—	—	500	39	106	88	2,8	—	—	—	
IJsselmeer ('33)	[14]	—	—	—	—	150	19	88	39	0,4	39	—	—	
Waddenzee ('70)	[14]	—	—	—	—	248	32	116	88	1,0	—	—	—	
Lek bij Streefkerk ('77)	[7]	—	0,17	9	—	1435	219	600	315	23,4	68	5,1	—	KMR 975
<i>Loswallen Rotterdam</i>														
Steendijkpolder ('73-'78)	[4]	—	—	—	—	1614	235	447	409	12,8	55	8,3	135,0	eind opsp. 1964
Broekpold. vak 5 ('73-'78)	[4]	—	0,266	—	1,97	826	155	242	231	8,5	46	5,0	64,2	eind opsp. 1969
Broekpold. vak 12 ('73-'78)	[4]	—	0,150	—	0,74	580	94	178	156	5,5	39	2,8	47,6	eind opsp. 1971
<i>rivierklei</i>														
uiterw. Lobith 0-0,5 m Rijn ('79)	[1]	—	—	11,3	—	1280	190	86	384	10	54,6	32	—	
uiterw. Druten 0-0,5 m Waal ('79)	[1]	—	—	3,4	—	640	97	78	135	5,4	35,3	5,8	—	
binnendijs Wamel 0-0,5 m Waal ('79)	[1]	—	—	4,3	—	128	31	20	35	0,2	29,3	0,21	—	
uiterwaard Streefkerk 0-0,20 m Lek ('79)	[7]	—	0,018	5,1	0,40	1500	156	297	398	9,1	50,0	6,8	91	
uiterwaard Streefkerk 0,5-0,8 m Lek ('79)	[7]	—	0,005	3,0	1,32	1178	96	197	369	5,8	39,0	3,5	66	
IJsselafzetting Wilp ('73)	[5]	—	—	—	—	1100	170	300	270	8,6	57,0	5,0	—	
Rijnafzetting 15e/16e eeuw	[6]	—	—	—	—	93	21	77	31	0,5	33,0	0,14	12	

— betekent: geen gegevens voorhanden

* De gemiddelden werden als rekenkundige gemiddelden bepaald. De waarde van bepaalde baggerhoeveelheden kunnen afwijken door plaatselijke verschillen.

tabel IV: Verontreiniging opgelost in water (1979-1980)

	rivierwater Gorkum µg/l	water Waal- haven µg/l	oudere loswal: Broekpolder µg/l	
			bodemwater baggerspecie	slootwater loswal
Zink	47	41	27	19
Koper	6	5,0	8,1	11
Chroom	6	6,0	3,5	1,2
Lood	1	3,0	6,7	1,5
Cadmium	0,5	0,6	3,0	0,5
Nikkel	8	8	25	14
Kwik	0,05	0,1	<0,15	<0,02
Arsen	2,5	2,0	48	7,6
EOCl	*	6,0	12	6,3

naar gegevens uit [19 en 12].

* geen gegevens voorhanden.

basis van deze gegevens nader bepaald worden.

oliegehalten in baggerspecie

Enige resultaten van een door de gemeente Rotterdam uitgevoerde monstercampagne in 1979 zijn in tabel III weergegeven. De gehalten in gerijpte grond liggen als gevolg van aërobe afbraakprocessen lager dan die in vers gebaggerde specie. Uit onderzoeken met betrekking tot afbraak van aardolieverontreinigingen is gebleken, dat onder aërobe omstandigheden een snelle afbraak van olie plaatsvindt, zonder dat schadelijke restproducten worden gevonden.

extraheerbare organisch gebonden chloorverbindingen (EOCI)

In tabel III zijn de gemiddelde gehalten aan EOCl gegeven, zoals die in het slib uit verschillende havens voorkomen volgens de monstercampagne van 1979/1980 [6]. Tevens zijn de gehalten gegeven van enkele specifieke organische verontreinigingen zoals HCB en PCB's, in de tabel weergegeven. De gehalten aan specifieke bestrijdingsmiddelen als β -HCH, γ -HCH Dieldrin en Endrin bleken slechts bij een zeer beperkt aantal monsters boven de 'aantoonbaarheidsgrens' te liggen. Daardoor was het niet mogelijk hiervan gemiddelden te bepalen.

bindingsvorm, mobiliteit en potentiële milieu-effecten van de verontreinigingen

zware metalen

Bij de heersende pH is verreweg het grootste deel van de zware metalen in de baggerspecie aanwezig in de vorm van onoplosbare verbindingen, voornamelijk hydroxiden (onder aërobe omstandigheden) en sulfiden (onder anaërobe omstandigheden). Dergelijke verbindingen kunnen als immobiel worden beschouwd. Een deel van de zware metalen is als kationen aan fijne kleideeltjes ($<6\mu\text{m}$) en organische stof geadsorbeerd. Deze geadsorbeerde kationen zijn in evenwicht met de opgeloste kationen in het bodemvocht en kunnen zich verplaatsen door grondwaterstroming, die veroorzaakt wordt door percolerend regenwater of stijghoogteverschillen. De verplaatsing van de kationen wordt echter sterk afgeremd, doordat zij uit de oplossing worden 'weggevangen' wanneer deze een 'schone' bodemlaag binnendringt. Hier zal een deel van de kationen opnieuw aan de bodemdeeltjes worden geadsorbeerd of geprecipiteerd. In het verspreidingsmodel (zie verder in dit artikel) is met dit 'weg-

vangen' geen rekening gehouden. Wanneer er een evenwicht is bereikt tussen de geadsorbeerde en opgeloste kationen, zullen deze verder de grond binnendringen en daar op hun beurt worden geadsorbeerd. Aldus zal het 'verontreinigingsfront' (dat in werkelijkheid geen scherpe grens vormt) geleidelijk dieper de grond indringen.

Vrijwel alle 'zware metalen' vervullen een rol in de plantenfysiologische processen en vormen, in kleine hoeveelheden, noodzakelijke voedingsstoffen, zonder welke geen normale plantengroei mogelijk is (sporelementen). In grotere hoeveelheden echter kunnen zware metalen schadelijk zijn voor de plantengroei, of, indirect, voor dieren of mensen die de plant consumeren.

De gehalten zoals die in rivierslib en baggerspecie voorkomen, leiden nergens tot rechtstreekse schade aan landbouwgewassen of indirecte schade voor dieren of mensen. Een uitzondering hierop vormt het kopergehalte, dat schadelijk is voor schapen [9 en 17].

olie

Grond kan (door capillaire krachten) een zekere hoeveelheid olie, tegen de zwaartekracht in, vasthouden.

Deze hoeveelheid wordt aangeduid als de retentiecapaciteit R , uitgedrukt in liters olie per m^3 grond of in volume % en is als immobiel te beschouwen; verplaatsing door percolerend regenwater treedt niet op. Een veilige vuistregel voor de retentiecapaciteit is volgens Somers [15] 5 % van de poriënvolume van de grond. Dit zou voor gerijpt havenslib neerkomen op ca. 15 000 mg per kg droge grond.

Blijkens tabel III komen deze hoge gehalten als gemiddelden niet voor. Hoge oliegehalten vormen een ernstige bodemverontreiniging. Olie is een verzamelnaam voor een groot aantal koolwaterstoffen. Enkele hierin voorkomende lagere aromaten, met name

benzeen, toluen en xyleen hebben voor de mens toxische eigenschappen. Bepaalde afbraakprodukten van olie zijn sterk smaak- en reukbedevend (reeds bij concentraties in drinkwater in de orde van microgrammen per liter).

De genoemde toxische aromaten zijn verhoudingsgewijs goed oplosbaar in water (100 ... 1500 mg/l tegen 0,1 ... 50 mg/l voor de paraffines). Aangezien de olie veelvuldig met grote hoeveelheden water in contact is geweest, (de lozing gebeurt in het water, de specie wordt opgebaggerd uit het water en verspoten met water dat daarna terugvloeit naar de rivieren) zijn deze toxische verbindingen niet meer of slechts in verwaarloosbare hoeveelheden aanwezig in gerijpte baggerspecie.

Goed gerijpte baggerspecie, die in den droge verwerkt wordt in te verbeteren dijken, zal zo lang en zo intensief met luchtzuurstof in aanraking zijn geweest, dat gezien de ervaring bij dergelijke werken, geen olie-resten meer worden aangetroffen. Het risico van olieverontreiniging van de omgeving is daardoor praktisch niet aanwezig, zoals ook trouwens uit de praktijk van bestaande loswalen is gebleken.

extraheerbare organisch gebonden chloorverbindingen (EOCI)

De mobiliteit van de meeste van deze stoffen is zeer gering, doordat zij slecht oplosbaar in water zijn en sterk aan de bodem adsorberen. In oliecomponenten zoals benzeen, xyleen en toluen zijn de meeste persistente pesticiden goed oplosbaar. Zoals gezegd, zijn deze in water enigszins oplosbare koolwaterstoffen in gerijpte baggerspecie nauwelijks meer aanwezig. Sterke migratie van EOCl naar het grondwater is dan ook niet te verwachten.

Van deze groep verbindingen wordt een groot aantal vrij snel afgebroken. Tot de meer persistente verbindingen, die in veel mindere mate voorkomen, behoren sommige insectici-

den/fungiciden. De meeste herbiciden zijn veel minder toxisch voor mens en dier en veel minder persistent dan de insecticiden/fungiciden.

De halfwaardetijden van herbiciden in de grond bedragen enkele maanden tot maximaal twee jaar in de meest ongunstige omstandigheden. Van insecticiden kunnen de halfwaardetijden echter variëren van enkele maanden tot zelfs tientallen jaren (bijvoorbeeld DDT, Dieldrin, Endrin).

Indien de persistente EOCI-verbindingen in de voedselketen terechtkomen, accumuleren deze in elke schakel van die keten. Ten slotte worden ze opgeslagen in de vetreserves van dier en mens. Bij het aanspreken van deze vetreserves ontstaat gevaar voor de gezondheid.

De EOCI worden gemakkelijk door de vegetatie opgenomen. Detoxificatie van gechloreerde koolwaterstoffen door omzettingen in de plant treedt niet of slechts zeer langzaam op. Afbraak met daarbij in veel gevallen detoxificatie door microben vindt in de bodem langzaam plaats in aëroob milieu, maar sneller in anaëroob milieu (bijvoorbeeld DDT → DDD). In nat slib en zuutstofarm water vindt vrij snel omzetting van sommige pesticiden plaats.

Blijkens gegevens in tabel IV zijn de gehalten in bodem- en slootwater van een loswal (Broekpolder) zodanig laag, dat praktisch gesproken geen sprake kan zijn van verontreiniging van de omgeving.

verspreidingsmodel alblasserwaard

In het navolgende wordt een situatie beschouwd die karakteristiek kan worden geacht voor de dijkverzwaring in de Alblasserwaard.

Voor de Lek, ter hoogte van Streefkerk, geldt het volgende beeld van tabel V voor de stand van de rivierpeil ten opzichte van het polderpeil. Uit tabel V valt af te leiden, dat het

tabel V Frequentie rivierwaterhoogten, meetpunt Streefkerk [13].

rivierpeil t.o.v. polderpeil (m)	gem. aantal dgn/jr. (% van de tijd)	
	hoogwater	laagwater
0 tot +2	0 (0)	355 (97)
+2 tot +3	175 (48)	10 (3)
+3 tot +4	190 (52)	0 (0)

rivierpeil nooit lager is dan het polderpeil. De stroming in de goed doorlatende laag is daardoor steeds landinwaarts gericht.

Figuur 3 toont de wijze waarop de dijken van het Hoogheemraadschap Groot-Alblasserwaard verbeterd zullen gaan worden. Gedurende gemiddeld hoogwater stijgt het rivierwater tot ongeveer 3 m boven het polderpeil. In deze situatie komt het freatisch vlak niet in de aanvulling. Gedurende gemiddeld één dag per jaar stijgt het rivierwater tot 4 m boven het polderpeil aan de andere zijde van de dijk. Daarbij komt het grondwater juist met aanvuulspecie in aanraking. Het zal echter dan nog niet mogelijk zijn, dat bij hoge rivierstanden verontreinigende stoffen met het grondwater meegevoerd worden in de richting van de polder. Dit zou slechts mogelijk zijn bij extreem hoge rivierstanden.

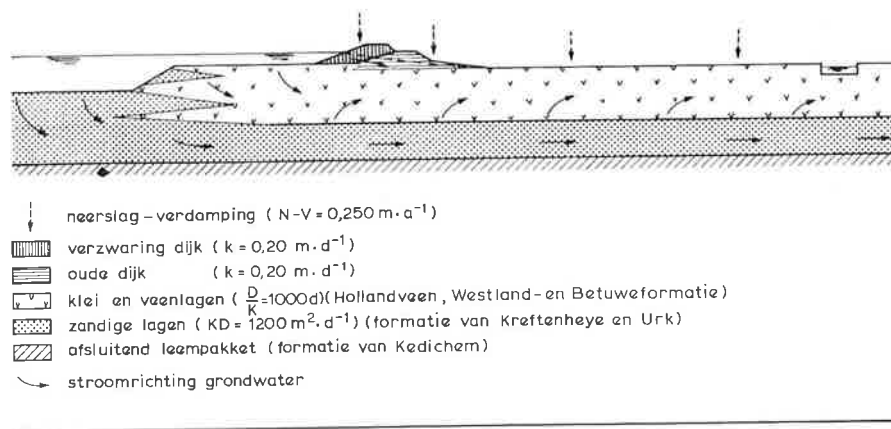
3. Geschematiseerd beeld van dijkverzwaring in het Hoogheemraadschap Groot-Alblasserwaard.

den, die meer dan 4 m verschillen met het polderpeil en die echter gemiddeld minder dan een dag per jaar optreden. Een minimaal deel van het neerslagwater (namelijk dat deel dat niet afstroomt van de dijkhelling) kan in de ophoging infiltreren en vervolgens doorsijpelen naar de polder. Percolatie naar dieper gelegen grondslagen is uitgesloten, gezien de kwelsituatie, waarbij de grondwaterstroming omhoog gericht is.

globale berekening van mogelijke verontreiniging van het polderwater

Voor de oriënterende berekening is van een aantal extra ongunstige veronderstellingen uitgegaan:

- een waterstand van 5 m boven het polderpeil gedurende één dag per jaar (het gemiddelde ligt slechts bij 4 m);
- het totale neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) percolleert door het versterkte dijklichaam; in werkelijkheid zal een groot gedeel-



te van het neerslagoverschot oppervlakkig afstromen over het dijktafvlak;
- verhanglijen van het grondwater in het dijklichaam stelt zich permanent in op een hoogte van gemiddeld 2 m boven de basis van de dijk, gedurende het maatgevende hoogwater, in werkelijkheid zal het freatisch vlak bij extreem hoogwater juist even in de aanvulling stijgen;

- tijdens kwel en percolatie door de dijk blijft de concentratie van contaminanten in het poriënwater gelijk; in werkelijkheid zal deze dalen door de trage mobilisatie; met adsorptie 'Onderweg' is geen rekening gehouden;
- de vervuilinggraad is gebaseerd op een gemiddelde uit het Rotterdamse havengebied, vooral uit de middenhavens, euroklei die uitsluitend uit de westelijke havens afkomstig is, blijkt aanzienlijk minder verontreinigd.

Wat de verder aangenomen parameters betreft, wordt naar figuur 3 verwezen. In tabel VI zijn de resultaten van de berekening weergegeven en vergeleken met de in het 'Indicatief Meerjaren Programma, Water 1980 ... 1984', gehanteerde normen. Het blijkt dat, ook wanneer men de concentraties in het poriënwater nog verhoogt met de opgeloste gehalten van rivierwater (maximale gehalten van de diepe kwel) en die van de neerslag, de totalen nog ruim beneden IMP-normen blijven.

Voorbeeld van een berekening.

berekening kwel door dijklichaam bij extreem hoog water (1 dag/jaar, $\Delta h = 5\text{ m}$)	$0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$
neerslag op dijklichaam, gedeeltelijk percolerend door dijk ($0,25 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1} \times 20\text{ m}$)	$5,00 \text{ m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$
neerslag in polder ($0,25 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1} \times 100 \text{ m}$ achter dijk)	$25 \text{ m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$
kwel in polder (eerste 100 m achter dijkgedeelte $\frac{365}{2}$ dagen/jaar, $\Delta h = 3\text{ m}$)	$55 \text{ m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$
	$80 \text{ m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$

$$\text{verdunningsfactor: } \frac{5,04}{80} = 0,06$$

tabel VI Resultaten van de berekeningen.

	gehalte in poriënwater van baggerspecie-depot (42 monsters) ($\mu\text{g/l}$)*		vermenigvuldigd met verdunningsfactor 0,06 ($\mu\text{g/l}$)		IMP-normen voor oppervlaktewater [10] (μl)
	gemiddeld	hoogste waarde	gemiddeld	hoogste waarde	
org. chloor	<12	35	<0,72	2,1	—
zink	27	115	1,62	6,9	<200
koper	8,05	23	0,48	1,38	< 50
chromium	3,5	7,4	0,21	0,44	< 50
lood	6,7	15	0,40	0,90	< 50
cadmium	3,0	7,1	0,18	0,43	< 2,5
nikkel	25	70	1,50	4,20	< 50
kwik	< 0,15	0,7	<0,009	0,04	< 0,5
arsen	48	137	2,88	8,22	< 50

* Uit: Geochemische en hydrologisch onderzoek naar het gedrag van metalen en pesticiden in de Broekpolder, Waterloopkundig Lab. Verslag Onderzoek M1478, 1980

— = gegevens ontbreken

μg = microgram = 10^{-6} gram.

Voor de metalen cadmium en arsen is ook uitgerekend of de gesommeerde hoeveelheden tot ontoelaatbare concentraties zouden leiden. Daarbij is uitgegaan van de concentraties van de diepe kwelstroom gelijk aan die van rivierwater (tabel IV). De concentratie in het neerslagwater is voor beide elementen op 0,6 g per liter gesteld. Wat het poriënwater betreft, is van de 'hoogste waarden' uitge-

gaan (tabel VI).

De concentratie in een strook ter breedte van 100 m achter de dijk komt dan uit op 0,979 en 9,59 μg per liter voor respectievelijk cadmium en arsen, welke gehalten nog ruim beneden de IMP-normen liggen.

conclusies

Bij dijkverzwaring van rivierdijken in het polderdistrict Groot-Alblasserwaard, gebruikmakend van gerijpte baggerspecie, is geen verontreiniging van het achterliggende polderland te verwachten, omdat:

- de grondwaterstand slechts zelden en dan nog gedurende zeer korte tijd in de aanvulling met baggerspecie stijgt;
- de verontreinigingen zeer weinig mobiel zijn;
- uitgaande van de meest ongunstige veronderstellingen, concentraties kunnen ontstaan die ver beneden de basiskwaliteitsnormen uit het IMP voor oppervlaktewater blijven;

- het gehalte aan oplosbaar zout (keukenzout) in baggerspecie tijdens de rijpingsperiode voldoende afneemt om geen schade te veroorzaken;
 - de verontreinigingen in de berekening maatgevend zijn voor het middegebied van de Rotterdamse havens. Euroklei uit het westelijk havengebied bezit een veel geringer gehalte aan verontreinigingen en zal nog geringere kans op verontreiniging geven.

Wat betreft de milieu-aspecten leiden de berekeningen uit deze notitie tot de conclusie dat baggerspecie uit het Rotterdamse havengebied geschikt is voor verzanding van dijken in de Alblasserwaard.

literatuur

1. Adviesbureau Arnhem BV: 'Oriënterend grond- en gewasonderzoek van enkele locaties langs Waal en Rijn'. (in opdracht van Gemeentewerken Rotterdam en Grontmij NV), De Bilt (1979).
2. Adviesbureau Arnhem BV, Niet gepubliceerde gegevens. Oktober 1980.
3. Dienst Grondwaterverkenning -TNO (1974): 'Grondwaterkaart van Nederland', schaal 1 : 50 000.
4. Driel, W. van: 'Contaminanten in havenslib. Samenstelling van 22 loswallen', Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.), 1980.
5. Driel, W. van, en A.J. de Groot: 'Zware metalen in riviersedimenten', Chemisch Weekblad nr.: 8, 1974.
6. Gemeentewerken Rotterdam-Ingeneursbureau Havenwerken: 'Milieu-aspecten onderhoudsbaggerspecie; gehalten aan olie, bestrijdingsmiddelen en zware metalen'. Analyse monstercampagne december 1979; januari 1980. Rotterdam, maart 1981.
7. Gemeentewerken Rotterdam, Ingeneursbureau Havens: 'Kwantitatieve vergelijking van havenslib en slib afkomstig uit de uiterwaarden nabij Streefkerk'. Code 82-80-51. Rotterdam, 1980.
8. Heidemaatschappij: 'Havenslib; 74e wetenschappelijke, bijeenkomst Ned. Bodemkundige Vereniging', (mededelingen KNHM nr. 39), 1974.
9. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid: 'Zware metalen in havenslib en enkele daarop verbouwde gewassen'. IB nota 42; herziene versie van Nota 15, 1977.
10. Ministerie van Verkeer en Waterstaat: 'Het Indicatief Meerjaren Programma Water 1980-1984', 1981.
11. Rijks Geologische Dienst: 'Geologische kaart van Nederland', schaal 1 : 50 000 kaartblad 38-west (concept).
12. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Rijksinstituut voor zuivering van Afvalwater: 'Kwaliteitsonderzoek Rijkswateren'. Verslag van de resultaten over het 3e kwartaal 1980.
13. Rijkswaterstaat: 'Tienjarig overzicht der waterhoogten en afvoeren 1951-1960'.
14. Salomons, W. en W.G. Mook: 'Biogeochemical processes affecting metal concentration in lake sediments' (IJsselmeer, the Netherlands)-Science of the environmental nr. 16, 1980.
15. Somers, J.A.: 'Bodemverontreiniging door olie; bacteriologische omzetting van Olieproducten in de bodem'. Werkrapport IG-TNO A57, 1971.
16. Stuurgroep Berging Baggerspecie/Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne: 'Definitief Milieu Effecten Rapport berging baggerspecie'. Grontmij, De Bilt. 1979.
17. Ven, W.S.M. van de e.a.: 'Spoorelementgehalte in koeien uit gebieden langs Rijn en IJssel'. Landbouwkundig Tijdschrift 89 nr. 8, 1979.
18. Waterloopkundig Laboratorium-Instituut v. Bodemvruchtbaarheid: 'Kwaliteitsonderzoek van Baggerspecie in het Rotterdamse havengebied in 1977; zware metalen en nutriëntenanalyses in slib- en poriënwatermonsters', 1977.
19. Waterloopkundig Laboratorium: 'Geochemisch en Hydrologisch onderzoek naar het gedrag van zware metalen en pesticiden in de Broekpolder'. Verslag Onderzoek M. 1478. 1980.
20. Wijk, A.L. van (ICW); J.A. van Rhee (RIN); P. Doelman (RIN); A.M. Hazevoet (De Dorschkamp): 'Kwaliteit Rotterdams havenslib als ophoogmateriaal voor recreatieterrinen in Midden Delfland'. ICW Regionale studies 6, 1974.

Inhoud

- 1 Het gebruik van gerijpte baggerspecie in dijkverbetering**
door: ir. C. P. de Waard en ir. C. P. van de Velde
- 4 Grondmechanische aspecten van de toepassing van gerijpte havenslib in dijkbouw**
door: ing. J. Dekker
- 13 Milieu-aspecten bij toepassing van 'gerijpte' baggerspecie in dijkbouw**
door: J. R. Willet en J. C. Cavelaars