

NOTITIE
REINIGING VAN
ONDERWATERBODEMS



postbus 342
7300 AH Apeldoorn
7300 AH Apeldoorn
bezoekadres
Dijk van Westenenk 501
7300 AH Apeldoorn
telex 36395 tnoap
telefoon 055 477 33 44
telefoon 055 477 33 44

ir. J.W. Assink
dr. ir. W.J.Th. van Gemert
ing. H.J. v. Veen

Ref. nr. : 85-07555
Dossiernr. : 8722-13713
Datum : februari 1985
NP

Bestemd voor
Rijkswaterstaat
Directie Benedenrivieren
t.a.v. ir. W. Broeders

„Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
copie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.”

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten
en verplichtingen van opdracht-
gever en opdrachtnemer verwezen
naar de „Algemene Voorwaarden
voor Onderzoeks- en Ontwikke-
lingsopdrachten aan TNO, 1979”
dan wel de desbetreffende terzake
tussen partijen gesloten overeen-
komst.

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord

6. BEHANDELINGSTECHNIEKEN

6.1 Inventarisatie bodemsaneringstechnieken

6.1.1 Inleiding

6.1.2 Kenmerken van verontreinigde bodems

6.1.3 Saneringstechnieken

6.1.4 Inzetbaarheid van reinigingstechnieken

6.2 Inventarisatie saneringstechnieken voor onderwaterbodems

6.2.1 Inleiding

6.2.2 Kenmerken verontreinigde onderwaterbodems

6.2.3 Saneringstechnieken

6.2.4 Inzetbaarheid van reinigingstechnieken

6.3 Conclusies en aanbevelingen

VOORWOORD

In opdracht van Rijkswaterstaat Directie Benedenrivieren is door MT-TNO een hoofdstuk geschreven voor een notitie van de Functionele Werkgroep Onderwaterbodems (FWOB). De aanleiding hiertoe was een verzoek van ing. A. Kroes van het RIZA om dit hoofdstuk te schrijven aan de hand van een door hem voorgelegd concept.

Het voor u liggende hoofdstuk wordt als concept gepresenteerd, omdat mogelijk nog enige wijzigingen aangebracht moeten worden. De auteurs zijn namelijk niet op de hoogte van de inhoud van de overige hoofdstukken.

6. BEHANDELINGSTECHNIEKEN

6.1 Inventarisatie bodemsaneringstechnieken

6.1.1 Inleiding

Zoals verderop in dit hoofdstuk zal bijkomen onderscheiden onderwaterbodems zich op een aantal specifieke kenmerken van niet-onderwaterbodems. Om die reden worden hier eerst de technieken voor behandeling van verontreinigde bodems behandeld. In een apart hoofdstuk wordt vervolgens behandeld welke technieken in principe geschikt kunnen zijn voor behandeling van onderwaterbodems. Waar mogelijk zullen dan de ervaringen die bij de bodemreiniging zijn opgedaan worden overgenomen.

De potentiële toepasbaarheden van de verschillende bodemsaneringstechnieken zijn sterk afhankelijk van de concentratie en type verontreiniging, de grondsoort en de situering van de verontreinigde lokatie.

Voordat de saneringstechnieken besproken worden zal eerst op genoemde aspecten worden ingegaan.

In paragraaf 6.1.2 zijn de belangrijkste algemene kenmerken van verontreinigde bodems samengevat.

In paragraaf 6.1.3 komen de saneringstechnieken aan de orde. In de daaropvolgende paragrafen wordt de toepasbaarheid besproken van die technieken die of operationeel zijn of waar zicht op is dat ze dat binnen afzienbare tijd (1987) worden.

6.1.2 Kenmerken verontreinigde bodems

Type verontreinigingen

De verontreinigingen kunnen in twee hoofdgroepen worden onderscheiden, te weten de anorganische en de organische verontreinigingen.

Binnen de categorie anorganische verontreinigingen kan vervolgens onderscheid worden gemaakt tussen zware metalen en metalloïden, cyaniden en andere anorganische verontreinigingen (S^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , etc.). Een belangrijke eigenschap van zware metalen is dat zij niet thermisch zijn af te breken. Wel kan soms de oxidatietoestand door een thermische behandeling veranderen, waardoor ook de fysisch-chemische eigenschappen veranderen, bijvoorbeeld $Cr^{3+} \rightarrow Cr^{6+}$ en $As^{3+} \rightarrow AsO_4^{3-}$. De anorganische verontreinigingen hebben ionogene eigenschappen. Daardoor kunnen deze verontreinigingen zeer hecht worden gebonden in de bodem.

Met betrekking tot de organische verontreinigingen kan onderscheid worden gemaakt tussen alifatische verontreinigingen, aromatische koolwaterstoffen en gehalogeneerde koolwaterstoffen. Afhankelijk van de grootte van de moleculen en het al dan niet aanwezig zijn van polaire groepen in het molecuul zijn de organische verontreinigingen meer of minder vluchtig en goed tot slecht oplosbaar in water.

In onderstaand overzicht zijn de belangrijkste categorieën van verontreinigingen vermeld.

Overzicht van typen verontreinigingen

a. Zware metalen, metalloïden en verbindingen hiervan

Te onderscheiden in:

- "mobiliseerbare" verontreinigingen, dat wil zeggen stoffen die met water of zuur of loog in oplossing overgaan. Voorbeelden zijn Cd en Zn.
- hecht gebonden verontreinigingen, zoals Pb en Cr.

Een grens tussen deze twee groepen is niet altijd duidelijk aan te geven; vele metalen zijn zelfs deels mobiliseerbaar en deels hecht gebonden aan gronddeeltjes.

b. Cyaniden

Te onderscheiden in:

- vrije cyaniden
- complex-gebonden cyaniden (met name ijzercyaniden).

c. Alifatische koolwaterstoffen en minerale oliën

Eventueel te onderscheiden in:

- laag kokende (vluchtige) stoffen.

De grens tussen deze twee wordt arbitrair gekozen bij stoffen met een kookpunt tussen 200 à 250 °C. Een voorbeeld van de eerste groep is benzine en van de tweede groep wasachtige stoffen.

d. Aromatische koolwaterstoffen

Te onderscheiden in:

- enkelvoudige aromatische koolwaterstoffen
- polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK).

Enkelvoudige aromatische koolwaterstoffen zijn veelal vluchtige stoffen (benzeen, toluen, xyleen), matig tot slecht in water oplosbaar (uitzonderingen zijn bijvoorbeeld de fenolen die vrij goed oplosbaar zijn).

PAK zijn nauwelijks vluchtig en nog minder oplosbaar in water dan enkelvoudige aromatische koolwaterstoffen.

e. Gehalogeneerde koolwaterstoffen

Te onderscheiden in:

- bestrijdings- en conserveringsmiddelen
- (vluchtige) oplosmiddelen, zoals per- en trichloorethyleen
- andere, bijvoorbeeld PCB.

De oplosmiddelen zijn in het algemeen zeer vluchtig, de andere stoffen zijn matig vluchtig tot niet vluchtig. Even-

tueel kan nog onderscheid worden gemaakt naar de oplosbaarheid in water van deze stoffen.

f. Overige

Hieronder vallen met name overige anorganische verontreinigingen, zoals NH_4^+ , PO_4^{3-} , Br^- , S^{2-} , fluoriden, barium, NO_3^- , zuren en niet-gehalogeneerde bestrijdingsmiddelen, zoals di-ethyl kwik.

Grondsoort

In de literatuur is een indeling van de grond in 5 categorieën aangebracht. Deze categorieën zijn achtereenvolgens:

a. Zandgronden, te onderscheiden in:

- humusarme zandgronden
- humusrijke zandgronden

Onder zandgronden worden verstaan gronden met minder dan 10% minerale deeltjes kleiner dan 63 μm . De grens tussen humusarm en humusrijk ligt bij circa 2,5% humus.

b. Leemhoudende gronden, te onderscheiden in:

- humusarm (< 2,5% humus)
- humusrijk (> 2,5% humus)

Leemhoudende gronden worden hier beschouwd als zandgronden, waarbij een aanzienlijk deel van de gronddeeltjes (> 10%) kleiner is dan 63 μm .

Het percentage gronddeeltjes kleiner dan 63 μm is echter niet zo hoog dat sprake is van leem- en kleiachtige gronden.

c. Sterk leemhoudende en kleiachtige gronden

Eenvoudigheidshalve worden hier gronden bedoeld, waarbij meer dan 30% van de minerale fractie kleiner is dan 63 μm .

d. Veen- of veenachtige gronden (zeer humusrijke gronden)

Deze gronden bevatten (op droge stofbasis) tenminste 20% organische delen en hebben de eigenschap een grote hoeveelheid water vast te houden.

e. Sterk gestratificeerde gronden of mengsels

Hieronder vallen gronden die door hun heterogeen karakter niet volledig in één van de voornoemde categorieën vallen, maar juist voor belangrijke delen in twee of drie verschillende categorieën. Te denken valt bijvoorbeeld aan zandgronden, waarin aanzienlijke lagen veen en/of klei voorkomen.

Situering van de verontreiniging

Wat betreft de situering van de verontreiniging kan onderscheid gemaakt worden in een tweetal locatietypen:

- ongewild aanwezig (bijvoorbeeld geval "Lekkerkerk")
- bewust aanwezig (bijvoorbeeld specie depot, vuilstort)

Vooruitlopend op de beschrijving van de reinigingstechnieken kan vermeld worden dat de situering van de verontreiniging van grote invloed is op de procesgang van de reinigingstechniek. De situering bepaalt onder andere de haalbaarheid van in situ reiniging.

6.1.3 Saneringstechnieken

Algemeen

Bij bodemsanering onderscheidt men isolatietechnieken (afscherming), immobilisatietechnieken en reinigings- of fraktioneringstechnieken. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de reinigings- of fraktioneringstechnieken, in hoofdstuk 4 zijn reeds de isolatie- en immobilisatietechnieken besproken.

Het scala van reinigingstechnieken is zeer divers. Sommige bevinden zich in het stadium van laboratoriumonderzoek, andere vinden in de praktijk al toepassing.

Van belang is om vast te stellen dat het inzicht in de reinigingstechnieken van grond - in den droge - al relatief ver gevorderd is door de aan het licht getreden gevallen van ernstige bodemverontreiniging gedurende de afgelopen jaren. Voordat op de toepasbaarheid van de technieken wordt ingegaan wordt eerst een overzicht gegeven van de beschikbare technieken. Daarbij wordt er in principe van uitgegaan dat de grond steeds voor behandeling wordt opgegraven.

Wel wordt bij het overzicht vermeld welke technieken eventueel ook als in situ technieken in aanmerking komen.

Reinigingstechnieken

In dit kader worden niet alleen technieken gepresenteerd die reeds operationeel zijn, maar ook die zich momenteel nog in het ontwikkelingsstadium bevinden of in de nabije toekomst zullen worden ontwikkeld.

De volgende technieken kunnen worden onderscheiden:

- | | | | | |
|-----------------------|---|---|---|---|
| thermische technieken | - | - | - | - |
| | | | | stoomstrippen (ook wel in situ mogelijk) |
| | | | | uitdampen (200-600 °C) via indirecte of directe verhitting, inclusief nabehandeling van de gassen |
| | | | | pyrolyse (400-2000 °C) (niet in ontwikkeling) |
| | | | | verbranden (≥ 800 °C) (fluïdbed, roterende trommel), eventueel met nabehandeling gassen |

extractie technieken	- wassing op waterbasis, waaraan eventueel zijn toegevoegd: zuren, basen, detergenten - met organische vloeistof (in water oplosbaar) - idem (niet in water oplosbaar) - flotatie
(micro-)biologische technieken (primair aerobe processen)	- landfarming (eventueel ook in situ mogelijk) - op compostering gelijkende technieken - "bio-extractie" (in situ)
chemische methoden	- neutralisatie - chemische oxidatie/reductie
fractioneringstechnieken	- opstroming of bezinking - hydrocyclonage - schroefclassificatie - (natte) zeving - classificatie met luchtstroom (voor gedroogde grond) - afscheiding van magnetische fractie
diverse	- thermisch spoelen (olie-afscheiding bij verhoogde temperaturen) - natte-lucht-oxidatie (Zimpro) - reiniging met behulp van ad- of absorbens (actieve kool, ionenwisselaar, tertiaire aminen etc.)

Bij het bovenstaande zij nog opgemerkt dat ook combinaties van technieken kunnen voorkomen, zoals een extractietechniek in combinatie met een microbiologische behandeling.

Fractioneringstechnieken vormen een enigszins afzonderlijke groep binnen de reinigingstechnieken. De niet-fractioneringstechnieken beogen in het algemeen een voldoende reiniging van de gehele partij verontreinigde grond, terwijl de fractioneringstechnieken in het algemeen beogen een bepaalde fractie van de grond af te scheiden. Deze fractie bestaat vaak uit de fijnere minerale deeltjes en/of organische stof (humus). In de praktijk blijkt deze fractie een veel hogere concentratie verontreinigingen te bevatten dan de grovere minerale deeltjes, zodat via een fractionering een voorreiniging kan worden uitgevoerd of zelfs een belangrijk deel van de hoeveelheid grond kan worden afgescheiden die voldoende schoon is.

Op deze wijze worden verontreinigde deelstromen geproduceerd. Ook voor deze deelstromen is een verdere verwerking mogelijk (bijvoorbeeld natte-lucht-oxidatie, hydrolyse, chemische behandeling, verbranding).

6.1.4 Inzetbaarheid van reinigingstechnieken

De tabellen 6.1 en 6.2 die zijn ontleend aan lit. [7] geven een overzicht van de toepasbaarheid van de verschillende reinigingstechnieken voor de verschillende typen grond en verontreinigingen. Het betreft hier de situatie dat de verontreinigde grond is afgegraven.

In de tabellen zijn die technieken opgenomen die nu reeds operationeel zijn of die, waarvan theoretisch kan worden verwacht dat een praktijktoepassing tot de mogelijkheden behoort. Het betreft de volgende 4 categorieën technieken:

- thermische methoden
- extractie
- chemische behandeling
- biologische behandeling.

In tabel 6.3 komen enige karakteristieke aspecten en een kosteninzicht van de desbetreffende reinigingstechnieken naar voren. Deze variëren sterk van bijvoorbeeld f 25,-/ton voor chemische behandeling tot f 400,-/ton voor verbranding.

Reinigingstechnieken "in situ" (dat wil zeggen dat de grond ter plekke zonder te zijn afgegraven wordt behandeld) liggen aanzienlijk problematischer. Slechts weinig verontreinigingen kunnen aangepakt worden en dan vanwege de doorlaatbaarheid nog met name bij humusarme en weinig kleihoudende gronden (bagger-specie daarentegen is vaak humusrijk en kleihoudend).

Daarbij moet nog bedacht worden dat het hier gaat over grond al dan niet of gedeeltelijk boven de grondwaterspiegel. Het toepassen van reinigingstechnieken "in situ" waar het onderwaterbodems betreft stuit op extra moeilijkheden.

Praktijkervaringen zijn niet bekend.

In het voorgaande zijn de technieken uitgangspunt geweest bij het aangeven van de inzetbaarheid bij verschillende grondsoorten en typen verontreinigingen.

In tabel 6.4 is het ontwikkelingsstadium van de diverse technieken aangegeven.

Uit de tabellen blijkt dat zware metalen slechts via extractie kunnen worden aangepakt en dat het daarbij zeer twijfelachtig is of gronden anders dan zandgronden voldoende kunnen worden gereinigd.

Complex gebonden cyaniden kunnen in principe zowel door een thermische methode als door een extractieve methode verwijderd worden. Wat betreft de andere verontreinigingen is men met verontreinigde grond momenteel vrijwel geheel aangewezen op thermische methoden. Mogelijk dat in de toekomst ook biologische methoden, nieuwe thermische technieken alsmede enkele extractieve methoden ter beschikking komen.

De toepassingsmogelijkheden van in situ methoden blijven ver achter bij de methoden na afgraven. Mogelijk zal voor speciale locaties biologische landfarming als in situ behandelingsmethode in de toekomst toepasbaar zijn.

6.2 Inventarisatie saneringstechnieken voor onderwaterbodems

6.2.1 Inleiding

Jaarlijks worden in Nederland op tal van plaatsen grote hoeveelheden slib gebaggerd, vooral uit havens, rivieren, kanalen en grachten. Enerzijds kan de noodzaak tot baggeren worden gebaseerd op economische motieven (vaarwegen moeten open blijven), anderzijds kan aan het baggeren een ecologische motivatie ten grondslag liggen (verontreinigingsniveau vormt een bedreiging voor mens en milieu).

Alleen in het Rotterdamse havengebied wordt jaarlijks al ongeveer 23 miljoen m³ gebaggerd. Een gedeelte daarvan is verontreinigd.

De hoeveelheid verontreinigde slib die elders in Nederland wordt gebaggerd uit havens, rivieren, kanalen en grachten is niet bekend, maar het is duidelijk dat het om grote hoeveelheden gaat. De berging van dit slib is problematisch. Opties die ter discussie staan zijn:

- afvoer naar het buitenland voor gecontroleerde stort;
- binnenlandse berging, bijvoorbeeld op regionale stortplaatsen, indien aan de regionaal gestelde criteria wordt voldaan;
- gecontroleerde stort, al dan niet tijdelijk.

Gezien de problematiek die gepaard gaat met berging van verontreinigde baggerslib is het zinvol te inventariseren welke de technische mogelijkheden zijn om het slib te verwerken.

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke technieken toegepast zouden kunnen worden, in hoeverre ze reeds beschikbaar zijn en wat eventueel nog moet worden gedaan voor verdere ontwikkeling van de verschillende technieken. Bij de discussie zal zoveel mogelijk worden uitgegaan van de kennis en ervaring die reeds beschikbaar is voor wat betreft technieken voor bodemreiniging. Zoals in het hierna volgende nader zal worden uitgewerkt ver- toont baggerslib in eigenschappen enige wezenlijke verschillen

met bodem, zodat een rechtstreekse vergelijking van bodemreinigingstechnieken voor reiniging van onderwaterbodems vaak niet mogelijk is.

6.2.2 Kenmerken verontreinigde onderwaterbodems

Baggerslib is in het algemeen fijn materiaal. Afhankelijk van de omstandigheden varieert de minerale fractie $< 16 \mu\text{m}$ van 10 tot 70%. De fractie $> 210 \mu\text{m}$ is doorgaans niet groter dan enkele procenten. De meest voorkomende verontreinigingen zijn verbindingen van nonferrometalen (Zn, Cd, Cr, Cu, P^{b} , Hg) en organische verbindingen (olie, polycyclische aromatische koolwaterstoffen, organische chloorverbindingen). De metalen zijn waarschijnlijk aanwezig als sulfiden en carbonaten, of complex gebonden in het aanwezige organische materiaal, of gebonden aan de mineralen.

Uit analyses aan zeeffracties blijkt dat vooral de metaalverbindingen in hogere concentraties aanwezig zijn in de fijne zeeffracties ($< 20 \mu\text{m}$). Organische verontreinigingen zijn vaak in verhoogde concentraties aanwezig in de grove fractie ($> 210 \mu\text{m}$). Soms zijn de verontreinigingen als deeltjes (bijvoorbeeld stoffdeeltjes) in het slib terecht gekomen. In die gevallen zijn de verontreinigingen in een specifieke vorm aanwezig. Een algemeen beeld van de kenmerken van slib dat op deze manier is verontreinigd is uiteraard niet te geven.

Een belangrijk verschil tussen verontreinigde grond en verontreinigde baggerspecie is dus de ontstaansgeschiedenis. Dit heeft enige consequenties voor de binding en mobiliteit van de verontreinigingen.

Een verontreinigde baggerspecie wordt in vele gevallen gevormd in het systeem water met daarin zwevende bestanddelen (organische stof en slibdeeltjes).

Indien in dit systeem verontreinigingen worden toegevoegd zullen, voor wat betreft de organische microverontreinigingen, de slecht oplosbare lipofiele verbindingen, zoals PCB, pesticiden, PAK en zwaardere alifatische verbindingen een voorkeur

vertonen tot een binding met de vaste fase. Redelijk oplosbare organische verbindingen zoals benzeen, toluen en chloormethanen zullen gedeeltelijk in de waterfase blijven en deze verbindingen zullen zich in aanzienlijk mindere mate met de zwevende bestanddelen op de bodem afzetten.

Voor metalen gelden andere mechanismen. De metalen vertonen ook een sterke affiniteit tot de vaste bestanddelen in de waterfase (met organische bestanddelen en lutumdeeltjes).

Echter voor zowel de organische microverontreinigingen als de zware metalen in de baggerspecie kan worden gesteld dat alvorens de specie zich heeft afgezet er een intensief extractieproces met water heeft plaatsgevonden. De binding aan baggerspecie is daardoor hecht en zal derhalve niet zo gauw door een op water gebaseerd proces worden verbroken. Er heeft zich een evenwicht (verdeling verontreiniging tussen vaste en de waterfase) ingesteld dat sterk in de richting van de vaste fase ligt.

Voor verontreinigde gronden hebben bovengenoemde processen en de daarmee gepaard gaande evenwichtsinstellingen zich in het algemeen minder intensief voltrokken. De binding van de verontreinigingen aan grond kan daardoor minder hecht zijn, waardoor het soms mogelijk is de verontreinigingen met water uit de logen.

Bovengenoemde verschijnselen zijn in negatieve zin van invloed op de mogelijke toepasbaarheid van (bodem)reinigingstechnieken voor baggerspecie.

Samengevat kan worden gesteld dat baggerslib en bodem vooral op de volgende punten onderling verschillen:

1. Baggerslib bevat veel water (gemiddeld ongeveer 75% water).
2. De binding van verontreiniging aan slib is vaak hechter dan aan bodem.
3. Baggerslib bevat een relatief hoog gehalte aan fijn mineraal materiaal (fractie $< 16 \mu\text{m}$ is tussen 10 en 80%).

De bovenstaande discussie gaat slechts gedeeltelijk op wanneer de verontreinigingen als duidelijk herkenbare deeltjes in het slib zijn terechtgekomen.

6.2.3 Saneringstechnieken

Bij de evaluatie van saneringstechnieken wordt voornamelijk uitgegaan van de situatie dat het baggerslib vrijwel direct na het baggeren verwerkt wordt. Voor het geval dat het baggerslib gedurende lange tijd in depot verblijft wordt verwezen naar de bodemsaneringstechnieken.

Als alternatief voor of in combinatie met gecontroleerde stort is het in principe mogelijk baggerslib te verwerken, zodat:

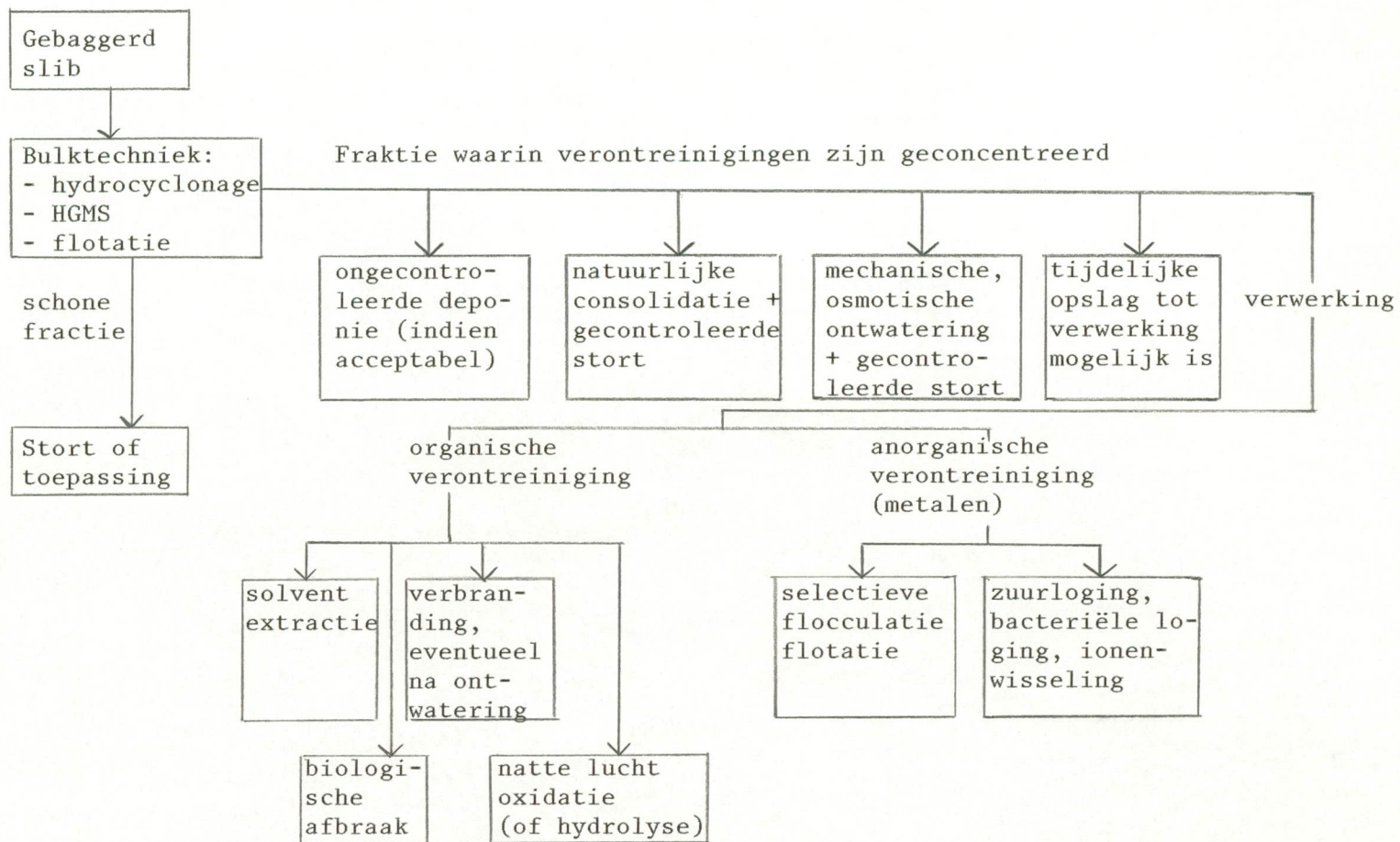
- óf de verontreinigingen worden geconcentreerd in kleinere volumina (deelstromen);
- óf het baggerslib wordt gereinigd;
- óf de verontreinigingen eerst wordt geconcentreerd in deelstromen en vervolgens de deelstromen verder worden verwerkt.

Voor de verwerking van grote hoeveelheden baggerslib (klasse 3 slib uit het Rotterdamse havengebied) komt op grond van de te verwachten proceskosten slechts een beperkt aantal technieken in aanmerking. Deze "bulktechnieken" zijn daardoor gekenmerkt dat ze goedkoop zijn en dat hoge verwerkingscapaciteiten mogelijk zijn. Ze zijn in het algemeen gericht op de uitvoering van fysische scheidingen. Zulke technieken zijn hydrocyclonage, flotatie en HGMS (High Gradient Magnetic Separation). Vooral hydrocyclonage blijkt een veel perspectief biedende bulktechniek te zijn.

Voor de verwerking van geconcentreerde deelstromen staat in principe een aantal additionele technieken ter beschikking. Genoemd kunnen worden onder andere ionenwisseling, selectieve flotatie, thermische behandeling en (elektro-osmotische) ontwatering.

De mogelijkheden voor verwerking van verontreinigd baggerslib worden schematisch gepresenteerd in figuur 6.1

Figuur 6.1 Mogelijkheden voor verwerking van verontreinigd baggerslib.



6.2.4 Inzetbaarheid van reinigingstechnieken

Het is in dit stadium nog niet mogelijk een gedetailleerd beeld te geven van de inzetbaarheden en de verwerkingskosten van alle genoemde technieken. Desalniettemin kan wel, voor zover de relevante informatie beschikbaar is, worden ingeschat onder welke voorwaarden de technieken zouden kunnen worden ingezet. De belangrijkste relevante informatie is per techniek samengevat in tabel 6.5.

Met betrekking tot de ontwikkeling van technieken voor verwerking van verontreinigd baggerslib zijn op dit moment in Nederland de volgende activiteiten in uitvoering:

1. Onderzoek naar optimalisering van hydrocyclonage en implementatie in het grootschalige baggergebeuren, gericht op klasse 3 slibben in het Rotterdamse havengebied. Uitvoering door Boskalis, ESMIL en TNO.
2. Implementatie van hydrocyclonage in het kleinschalige baggergebeuren (rivieren, kanalen), eventueel in combinatie met ontwatering van de geconcentreerde deelstroom, is in discussie.
3. Basisonderzoek naar mogelijkheden van verdere verwerking van geconcentreerde deelstromen na hydrocyclonage is in uitvoering door TNO. De volgende mogelijkheden worden in eerste instantie onderzocht:
 - a. Organische verontreiniging: solvent extractie in combinatie met hydrocyclonage.
 - b. Anorganische verontreiniging (metalen):
 - ionenwisseling
 - selectieve flotatie.

6.3 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Onderwaterbodems onderscheiden zich in een aantal opzichten wezenlijk van niet-onderwaterbodems. De belangrijkste verschillen zijn de minerale samenstelling, de hoeveelheid water en de historische achtergrond.
- Bijgevolg moet een onderscheid worden gemaakt tussen technieken die geschikt zijn voor verwerking van verontreinigde bodem en technieken die geschikt zijn voor verwerking van onderwaterbodems.

- Voor verwerking van verontreinigde bodem zijn vooral technieken op basis van thermische vervluchtiging of afbraak en technieken op basis van natte extractie en klassificatie in een vergevorderd stadium van ontwikkeling of reeds in een operationele fase.
- Voor verwerking van verontreinigde onderwaterbodems kunnen twee soorten technieken worden onderscheiden:
 1. Goedkope, grootschalig toe te passen bulktechnieken ten behoeve van concentrering van verontreinigingen in deelstromen. Vooral hydrocyclonage lijkt in dit opzicht veel perspectief te bieden.
 2. Technieken voor verdere verwerking van geconcentreerde deelstromen (ontwatering, zuurloging, ionenwisseling, flotatie, solvent extractie).
- In het algemeen verkeren de technieken voor verwerking van onderwaterbodems nog in het stadium van onderzoek of ontwikkeling.

Aanbevelingen

- Het lijkt zinvol de resultaten van het onderzoek op basis van hydrocyclonage dat tot nu toe is uitgevoerd aan havenslib op hun geldigheid te toetsen voor onderwaterbodems van andere herkomst (rivieren, kanalen, grachten).
- Verder onderzoek zal zich onder andere moeten richten op de ontwikkeling van technieken voor verdere verwerking van geconcentreerde deelstromen van hydrocyclonage (fijne minerale fractie). Met name technieken op basis van solvent extractie, ionenwisseling en (selectieve) flotatie verdienen verdere studie.

SECRETED BY THE NATIONAL ARCHIVES

For a more detailed description of the model, see the Appendix.

1 : correspondence to the following
2 : of the following
3 : in the following
4 : some of the following
5 : in the following

WASHINGTON

1. The following information was obtained from the records of the Federal Bureau of Investigation, Bureau of Prisons, and the United States Department of Justice, Office of the Inspector General, regarding the activities of the following individuals:

... (7) ... equation

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1. 1981-1982 1983-1984 1985-1986 1987-1988 1989-1990 1991-1992 1993-1994 1995-1996 1997-1998 1999-2000 2001-2002 2003-2004 2005-2006 2007-2008 2009-2010 2011-2012 2013-2014 2015-2016 2017-2018 2019-2020 2021-2022 2023-2024 2025-2026 2027-2028 2029-2030 2031-2032 2033-2034 2035-2036 2037-2038 2039-2040 2041-2042 2043-2044 2045-2046 2047-2048 2049-2050 2051-2052 2053-2054 2055-2056 2057-2058 2059-2060 2061-2062 2063-2064 2065-2066 2067-2068 2069-2070 2071-2072 2073-2074 2075-2076 2077-2078 2079-2080 2081-2082 2083-2084 2085-2086 2087-2088 2089-2090 2091-2092 2093-2094 2095-2096 2097-2098 2099-2100 2101-2102 2103-2104 2105-2106 2107-2108 2109-2110 2111-2112 2113-2114 2115-2116 2117-2118 2119-2120 2121-2122 2123-2124 2125-2126 2127-2128 2129-2130 2131-2132 2133-2134 2135-2136 2137-2138 2139-2140 2141-2142 2143-2144 2145-2146 2147-2148 2149-2150 2151-2152 2153-2154 2155-2156 2157-2158 2159-2160 2161-2162 2163-2164 2165-2166 2167-2168 2169-2170 2171-2172 2173-2174 2175-2176 2177-2178 2179-2180 2181-2182 2183-2184 2185-2186 2187-2188 2189-2190 2191-2192 2193-2194 2195-2196 2197-2198 2199-2200 2201-2202 2203-2204 2205-2206 2207-2208 2209-2210 2211-2212 2213-2214 2215-2216 2217-2218 2219-2220 2221-2222 2223-2224 2225-2226 2227-2228 2229-2230 2231-2232 2233-2234 2235-2236 2237-2238 2239-2240 2241-2242 2243-2244 2245-2246 2247-2248 2249-2250 2251-2252 2253-2254 2255-2256 2257-2258 2259-2260 2261-2262 2263-2264 2265-2266 2267-2268 2269-2270 2271-2272 2273-2274 2275-2276 2277-2278 2279-2280 2281-2282 2283-2284 2285-2286 2287-2288 2289-2290 2291-2292 2293-2294 2295-2296 2297-2298 2299-2300 2301-2302 2303-2304 2305-2306 2307-2308 2309-2310 2311-2312 2313-2314 2315-2316 2317-2318 2319-2320 2321-2322 2323-2324 2325-2326 2327-2328 2329-2330 2331-2332 2333-2334 2335-2336 2337-2338 2339-2340 2341-2342 2343-2344 2345-2346 2347-2348 2349-2350 2351-2352 2353-2354 2355-2356 2357-2358 2359-2360 2361-2362 2363-2364 2365-2366 2367-2368 2369-2370 2371-2372 2373-2374 2375-2376 2377-2378 2379-2380 2381-2382 2383-2384 2385-2386 2387-2388 2389-2390 2391-2392 2393-2394 2395-2396 2397-2398 2399-2400 2401-2402 2403-2404 2405-2406 2407-2408 2409-2410 2411-2412 2413-2414 2415-2416 2417-2418 2419-2420 2421-2422 2423-2424 2425-2426 2427-2428 2429-2430 2431-2432 2433-2434 2435-2436 2437-2438 2439-2440 2441-2442 2443-2444 2445-2446 2447-2448 2449-2450 2451-2452 2453-2454 2455-2456 2457-2458 2459-2460 2461-2462 2463-2464 2465-2466 2467-2468 2469-2470 2471-2472 2473-2474 2475-2476 2477-2478 2479-2480 2481-2482 2483-2484 2485-2486 2487-2488 2489-2490 2491-2492 2493-2494 2495-2496 2497-2498 2499-2500 2501-2502 2503-2504 2505-2506 2507-2508 2509-2510 2511-2512 2513-2514 2515-2516 2517-2518 2519-2520 2521-2522 2523-2524 2525-2526 2527-2528 2529-2530 2531-2532 2533-2534 2535-2536 2537-2538 2539-2540 2541-2542 2543-2544 2545-2546 2547-2548 2549-2550 2551-2552 2553-2554 2555-2556 2557-2558 2559-2560 2561-2562 2563-2564 2565-2566 2567-2568 2569-2570 2571-2572 2573-2574 2575-2576 2577-2578 2579-2580 2581-2582 2583-2584 2585-2586 2587-2588 2589-2590 2591-2592 2593-2594 2595-2596 2597-2598 2599-2600 2601-2602 2603-2604 2605-2606 2607-2608 2609-2610 2611-2612 2613-2614 2615-2616 2617-2618 2619-2620 2621-2622 2623-2624 2625-2626 2627-2628 2629-2630 2631-2632 2633-2634 2635-2636 2637-2638 2639-2640 2641-2642 2643-2644 2645-2646 2647-2648 2649-2650 2651-2652 2653-2654 2655-2656 2657-2658 2659-2660 2661-2662 2663-2664 2665-2666 2667-2668 2669-2670 2671-2672 2673-2674 2675-2676 2677-2678 2679-2680 2681-2682 2683-2684 2685-2686 2687-2688 2689-2690 2691-2692 2693-2694 2695-2696 2697-2698 2699-2700 2701-2702 2703-2704 2705-2706 2707-2708 2709-2710 2711-2712 2713-2714 2715-2716 2717-2718 2719-2720 2721-2722 2723-2724 2725-2726 2727-2728 2729-2730 2731-2732 2733-2734 2735-2736 2737-2738 2739-2740 2741-2742 2743-2744 2745-2746 2747-2748 2749-2750 2751-2752 2753-2754 2755-2756 2757-2758 2759-2760 2761-2762 2763-2764 2765-2766 2767-2768 2769-2770 2771-2772 2773-2774 2775-2776 2777-2778 2779-2780 2781-2782 2783-2784 2785-2786 2787-2788 2789-2790 2791-2792 2793-2794 2795-2796 2797-2798 2

100.3-100.5) 75-100% 22-100%

NAME OF THE ATTACHMENT: EXHIBIT

[illegible]

Library of Congress - Washington, D.C.

[illegible]

2120179/0000 00 00

SECRET

[illegible]

1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1001-1005.

CONFIDENTIAL - NO DISSEMINATION

[illegible]

1947-1948

[illegible]

Tabel 6.1 Reinigingstechnieken na afgraven.

Toepasbaarheid bij verschillende grondtypen

- + : in principe toepasbaar
 0 : soms toepasbaar, minder goed toepasbaar
 - : in het algemeen niet toepasbaar/
 of toepassing niet relevant
 ? : toepasbaarheid onzeker of niet bekend

METHODEN

Thermische methoden

	humusarme zandgronden	humusrijke zandgronden	humusarme leemhoudende gronden	humusrijke leemhoudende gronden	leem- en kleiachtige gronden	veen- en veenachtige gronden	gestratificeerde gronden (sterk heterogeen)
* Stroomstrippen	+	+	+	+	-?	0	0
* Uitdampen (circa 300 °C) met:							
- afgassen naverbranden	+	+	+	+	0	0?	0?
- afgassen katalytisch nabehandelen	+	+	+	+	0	0?	0?
- natte gasreiniging	+	+	+	+	0	0?	0?
* Uitdampen (600-800 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	+	+	+	+	+/-	0?	+/-
* Verbranden van grond (800-1000 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	+	+	+	+	0	+	+

Extractie

* Op waterbasis	+	0	0	0	-	?	0
* Met organisch oplosmiddel (oplosmiddel in het algemeen in water oplosbaar)	+	0	0	0	0/-	?	0
* Flotatie	+	0	0	0	-	-?	0/-

Chemische behandeling

* Oxidatie/reductie	+	0	+	0	+/-	0/-	0
* Neutralisatie (pH-bijstelling)	+	+	+	+	+/-	0	0

Biologische behandeling

* Landfarming (vgl. sludgefarming)	+	+	+	+	+/-	+	+
* Compostering (bedrijfsmatig)	+	+	+	+	0	+	+

Tabel 6.2 Reinigingstechnieken na afgraven

Toepasbaarheid bij verschillende typen verontreinigingen

+ : in principe toepasbaar
 0 : soms toepasbaar of minder goed toepasbaar
 - : in het algemeen niet toepasbaar/ of toepassing niet relevant
 ? : toepasbaarheid onzeker, niet bekend

METHODEN

Thermische methoden

	zware metalen (labiel)	zware metalen (hechtgebonden)	cyaniden (vrije)	cyaniden (complexe)	alifaten (vluchtig)	alifaten (hoogkokend)	aromaten (enkelvoudig)	aromaten (polycyclisch)	gehalog. koolwaterstoffen (polair, wateroplosbaar)	gehalog. koolwaterstoffen (apolair, wateronoplosbaar)	bestrijdingsmiddelen (polair, wateroplosbaar)	bestrijdingsmiddelen (apolair, wateronoplosbaar)	overige
* Stoomstrippen	-	-	-	-	+	0	+	0	0	+/-	-?	0	-
* Uitdampen (circa 300 °C) met:													
- afgassen naverbranden	-	-	0?	0	+	0	+	0	0	0	0/-	0/-	-
- afgassen katalytisch nabehandelen	-	-	0?	0	+	0	+	0	0	0	0/-	0/-	-
- natte gasreiniging	-	-	0?	0	+	0	+	0	0/+	0/+	0/+	0/+	-
* Uitdampen (600-800 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-?	-	+	+	+	+	+	+	+/-	+/-	0	0	-
* Verbranden van grond (800-1000 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0/-

Extractie

* Op waterbasis	+	+	+	+	+/-	0	+/-	0	+	+/-	+	+/-	+
* Met organisch oplosmiddel (oplosmiddel in het algemeen in water oplosbaar)	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0	0	-
* Flotatie	+	-	+	0	+	+	+	0	0	+	+	+	0

Chemische behandeling

* Oxidatie/reductie	-	-	+	?	0?	-?	0?	-?	-?	-?	-?	-?	-?
* Neutralisatie (pH-bijstelling)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+ ¹⁾

Biologische behandeling

* Landfarming (vgl. sludgefarming)	-	-	+	-?	+	+	+	0	0?	0/-?	0?	0/-?	0
* Compostering (bedrijfsmatig)	-	-	+	-?	+	+	+	0	0?	0/-?	0?	0/-?	0

1) in geval van zuur/base verontreiniging

Tabel 6.3 Reinigingstechnieken na afgraven.

Karakteristieke aspecten en kosten

- + : het betreffende aspect wordt als niet-problematisch of als gunstig ervaren
 0 : het betreffende aspect wordt als gematigd negatief of als een beperking ervaren
 - : het betreffende aspect wordt als negatief of als een sterke beperking ervaren

METHODEN

	Energiebehoefte	Benodigde hoeveelheid hulpstoffen	Reststoffen-problematiek	Toepassingsmogelijkheden bij gelijktijdig voorkomen van verschillende typen verontreinigingen	Saneringskosten (in guldens per ton grond)
<u>Thermische methoden</u>					
* Stoomstrippen	0/-	+	0	-	75/150
* Uitdampen (circa 300 °C) met:					
- afgassen naverbranden	0/-	+	+	0	75/150
- afgassen katalytisch behandelen	0/-	+	+	0	75/150
- natte gasreiniging	0/-	+	+	0	75/150
* Uitdampen (600-800 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-	+	+	0/+	100/300
* Verbranden van grond (800-1000 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-	+	+	0/+	150/400
<u>Extractie</u>					
* Op waterbasis	+	0	-	+	50/200
* Met organisch oplosmiddel (oplosmiddel in het algemeen in water oplosbaar)	+	0	-	+	100/200
* Flotatie	+	0	-	0	80/150
<u>Chemische behandeling</u>					
* Oxidatie/reductie	+	-	+ / 0	-	25/150
* Neutralisatie (pH-bijstelling)	+	0/-	+	-	25/ 75
<u>Biologische behandeling</u>					
* Landfarming (vgl. sludgefarming)	+	0	+	- / 0	25/100
* Composterings (bedrijfsmatig)	+	0	+	- / 0	25/100

Tabel 6.4 Reinigingstechnieken na afgraven.

Ontwikkelingsstadium

-
- +++ : volledig ontwikkeld, reeds toegepast: voor vele typen
in aanmerking komende grond en/of verontreinigingen
++ : idem, voor een beperkt aantal typen grond en/of verontreinigingen
+ : pilot plant of zeer gelimiteerde ervaring
0 : studie lopende of lab-experimenten
- : niet of nauwelijks onderzocht
-

METHODEN

eind 1984/ Verwacht ¹⁾
1e helft 1985 eind 1986

Thermische methoden

- | | | |
|--|--------|-----|
| * Stoomstrippen | + | ++ |
| * Uitdampen (circa 300 °C) met: | | |
| - afgassen naverbranden | ++ | +++ |
| - afgassen katalytisch nabehandelen | 0 | + |
| - natte gasreiniging | + | ++ |
| * Uitdampen (600-800 °C)
(inclusief nabehandeling van gassen) | + / ++ | +++ |
| * Verbranden van grond (800-1000 °C) | + / ++ | +++ |

Extractie

- | | | |
|--|-------|-----|
| * Op waterbasis | ++ | +++ |
| * Met organisch oplosmiddel
(oplosmiddel in het algemeen
in water oplosbaar) | 0 / + | + |
| * Flotatie | ++ | +++ |

Chemische behandeling

- | | | |
|----------------------------------|---|---|
| * Oxidatie/reductie | 0 | + |
| * Neutralisatie (pH-bijstelling) | 0 | + |

Biologische behandeling

- | | | |
|------------------------------------|-------|----|
| * Landfarming (vgl. sludgefarming) | + | ++ |
| * Compostering (bedrijfsmatig) | 0 / + | + |
-

1) Verwachting bij voldoende onderzoek- en ontwikkelingswerk

100

[illegible]

100

100

Tabel 6.5 Reiniging van onderwaterbodems
Technieken, ontwikkelingsstadia

Techniek/principe	Huidige toepassingen	Toepassingsmogelijkheid voor onderwaterbodems	Ontwikkelingsstadium toepassing bodemreiniging en onderwaterbodembreiniging	Milieuverdiensite voor onderwaterbodems	Uit te voeren onderzoek	Globale kosten ¹⁾ per m ³ gebaggerd sediment	Opmerkingen
<u>Hydrocyclonage</u>							
Deeltjesscheiding in centrifugaalveld, dat ontstaat door tangentiële invoer in cycloon. Scheiding op basis van verschil in dichtheid of deeltjesgrootte	- classificatie (klei- en zandwinning) - indikking - olie/waterscheiding	Fractionering van baggerslib in een relatief schone en een aan verontreinigingen geconcentreerde fractie. Zowel voor metalen als voor organische verontreiniging	Toepassing en mogelijke implementatie voor Rotterdams klasse 3 slib is in onderzoek. Laboratoriumonderzoek aan klasse 3 en 4 slibben van andere herkomst is uitgevoerd	Hydrocyclonage concentreert een verontreiniging in een deelstroom. Deze deelstroom kan vervolgens worden gestort of verder verwerkt	Toepasbaarheid hydrocyclonage onderzoeken voor diverse verontreinigde onderwaterbodem (kanalen, rivieren, grachten) en optimalisatie van het proces uitgaande van verschillende praktijksituaties	f 0,50 tot f 10,- afhankelijk van scheidingsgrens en capaciteit	Onderzoek alleen uitgevoerd aan Rotterdams havenslib met één type cycloon
<u>Flotatie</u>							
Afscheiding van deeltjes uit suspensie via opdrogen door hechting van luchtbellen aan de deeltjes	- zuivering afvalwater - selectieve deeltjes afscheiding (mijnbouw) - bodembreiniging - olie/waterscheiding	Selectieve afscheiding van verontreinigde deeltjes: - hydrofobe deeltjes (olie, PAK, EOCL) - deeltjes bestaande uit metaalverbindingen	Toepassing in bodembreiniging op demonstratieniveau	Reiniging van sediment waarin de verontreiniging als deeltjes geïntroduceerd is of met olie verontreinigd sediment	Toepasbaarheid onderzoeken van flotatie aan sediment met veel kleine deeltjes (< 20 µm)	f 0,50 tot f 10,- afhankelijk van chemicaliënverbruik en deeltjesgrootte	Op dit moment wordt de mogelijkheid bestudeerd metalen uit sediment te verwijderen door selectieve flocculatie/flotatie
<u>Biologische behandeling</u>							
Biologische afbraak van verontreiniging bijvoorbeeld via landfarming of compostering	van landfarming: - verwerking oliehoudend slib - reiniging stranden	Reinigingsmethode voor met biologisch afbreekbare componenten verontreinigd sediment, of voor verontreinigde deelstromen	Toepassing in bodemsanering is in onderzoek	Reiniging van sediment voor wat betreft biologisch afbreekbare componenten	Versnelling van afbraak door meer procesmatige aanpak. Verbreding toepassingsgebied	tot f 40,- afhankelijk van snelheid biodegradatie	Knelpunten zijn: - Benodigd landoppervlak (4 m ² /ton) - Verwerkings-tijd (2 jaar) - Uitdamping aan de lucht
<u>Solvent extractie</u>							
Afscheiden van organische verbindingen door oplossen in een organisch oplosmiddel	- productextractie in procesindustrie	Afscheiding van organische verontreinigingen	Toepassing in combinatie met hydrocyclonage voor havenslib op laboratoriumschaal onderzocht	Reiniging van sediment voor wat betreft organische verontreiniging. Afgewerkt extractiemiddel kan worden teruggevoerd voor hergebruik	Laboratoriumonderzoek naar: - type oplosmiddel - scheiding sediment oplosmiddel - terugwinning en reiniging oplosmiddel	f 10,- tot f 50,-	Extractiemiddel heeft mogelijk restwaarde vanwege calorische inhoud. Oriënterend onderzoek op laboratoriumschaal wordt op dit moment uitgevoerd

new structure would
be a good idea
to have a new
one built in
the new area
of the city
to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

to have a new
one built in
the new area
of the city

Thermische
behandeling

Afbraak organische componenten door thermische oxidatie	- afvalverwerking (huishoudelijk en industrieel) - zuiveringsslib - bodemreiniging	Beperkte toepassing vanwege watergehalte van baggerslib, voor afbraak organische verontreiniging. Eventueel wel toepasbaar na voorafgaande ontwatering	Toepassing voor verontreinigde bodem op praktijkschaal	Reiniging van sediment voor wat betreft organische verontreiniging. Bij ongewenste emissies in de atmosfeer is een gaswasser gewenst	Laboratoriumonderzoek: > f 100,- - ontwatering - verbranding - gaswassing	Voor afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen zoals PCB zijn hoge temperaturen nodig (≥ 1200 °C). Daartoe moeten de afgassen worden naverbrand
---	--	--	--	--	--	---

Natte
luchtoxidatie

Afbraak organische componenten bij hoge temperatuur (200-350 °C) en hoge druk (tot 200 bar)	Afvalwater- en slibverwerking afkomstig van: - chemische industrie - papierindustrie	Hydrolyse en oxidatie van organische verontreinigingen in het uiterste geval tot CO_2 en H_2O	Nog niet toegepast	Afbraak van organische verbindingen. Afbraak kan onvolledig zijn	Principiële mogelijkheid van toepasbaarheid voor sediment onderzoeken > f 100,-	Inzetbaarheid gering vanwege beperkte capaciteit per installatie
---	--	--	--------------------	--	---	--

High Gradient
Magnetic Separation

Afscheiding van (para)magnetische deeltjes uit suspensie	- waterzuivering - kleiopwerking	Verwijdering van (para)magnetische deeltjes	Toepasbaarheid is nauwelijks onderzocht	Reiniging van sediment voor wat betreft zware metalen	Toepasbaarheid voor diverse met zware metalen verontreinigd sedimenten of overloopwater na sedimentatie of consolidatie	f 2,- tot f 20,- Hoge investeringskosten. Echter lage verwerkingskosten vanwege hoge haalbare verwerkingscapaciteit. Techniek nog in beginstadium van ontwikkeling
--	-------------------------------------	---	---	---	---	---

Ionenwisseling

Extractie van metalen uit water	- Waterbehandeling	Verwijdering zware metalen na mobilisatie door aanzuren	Laboratoriumexperimenten aan havenslib zijn uitgevoerd	Reiniging van sediment voor wat betreft de zware metalen	Toepasbaarheid onderzoeken voor diverse met zware metalen verontreinigd sediment	f 20,- tot f 50,- Oriënterend onderzoek op laboratoriumschaal geeft hoopvol resultaat
---------------------------------	--------------------	---	--	--	--	--

Zuurloging

Afscheiden van metalen door oplossen in sterk zuur	- ertsverwerking	Verwijdering van zware metalen	Laboratoriumonderzoek uitgevoerd aan Neckarslib	Reiniging van sediment voor wat betreft zware metalen	Haalbaarheid onderzoeken voor diverse sedimenten	f 50,- - f 100,- Sterk afhankelijk van zuurverbruik Bij hoog kalkgehalte in sediment veel reststoffen
--	------------------	--------------------------------	---	---	--	---

Mechanische
ontwateringScheiding van
vaste stof en
water door fil-
treren of
centrifugeren

- zuiveringsslib
- produktontwatering
in procesindustrie

Ontwatering van gecon-
centreerde deelstroom
na hydrocyclonageReeds lang op prak-
tijkschaal toegepastVerkleining van
het volume voor
(gecontroleerde)
stortMeest geschikte methode
selecteren voor diverse
sedimententot f 20,-
afhankelijk van
chemicaliën-
verbruikBeperkte capa-
citeit tot ca.
30 m³/h per
apparaatElektroösmotische
ontwateringVerregaande ont-
watering door
combinatie van
osmose en elek-
trisch veld

- verdichting van
klei

Ontwatering van gecon-
centreerde deelstroom
na hydrocyclonageExperimenteel
stadiumVerkleining volu-
me tot dezelfde
graad als bereikt
wordt door na-
tuurlijke
consolidatieToepasbaarheid en haal-
baarheid onderzoeken

?

In Nederland
voldoende basis-
kennis aanwezig

1) Deze kosten hebben uitsluitend betrekking op de genoemde processtap. Hierbij zijn derhalve niet inbegrepen de kosten voor baggeren, transport, voorbereiding, nabewerking en dergelijke.

CENTRALE DIENSTEN APELDOORN

Nr.

AANVRAAGBON VOOR REPRODUKTIEWERK

Bon. in duplo invullen

Naam aanvrager

V. W. CENT
MT/BM/AD/SVEN/

afd.

TNO-onderdeel

Bestelde zenden aan

Uiterste leveringsdatum

Berekenen aan

1)

Opdracht nr.

Rapport/verslagnr.

OMSCHRIJVING:

1) Alleen invullen wanneer berekening
aan derden moet plaatsvinden

Paraaf voor aanvraag:

Datum:

ONDERSTAANDE RUIMTE IS BESTEMD VOOR DE ADMINISTRATIE

	Oplage	Aantal/ Formaat	Bedrag	Datum ontvangst
Xerox				
Xerox				
Xerox				
Sheets				
Kaften				
Dubbelzijdig				
Stencil				
Electr. stencil				Datum aflevering
Lichtdruk				
Adresseren				
Tijd (in uren)				
Diversen				Paraaf:
Ringbanden				
Totaal				

Tabel 6.5 Reiniging van onderwaterbodems
Technieken, ontwikkelingsstadia

Techniek/principe	Huidige toepassingen	Toepassingsmogelijkheid voor onderwaterbodems	Ontwikkelingsstadium toepassing bodemreiniging en onderwaterbodemreiniging	Milieuverdienste voor onderwaterbodems	Uit te voeren onderzoek	Globale kosten ¹⁾ per m ³ gebaggerd sediment	Opmerkingen
<u>Hydrocyclonage</u>							
Deeltjesscheiding in centrifugaalveld, dat ontstaat door tangentiële invoer in cycloon. Scheiding op basis van verschil in dichtheid of deeltjesgrootte	- classificatie (klei- en zandwinning) - indikking - olie/waterscheiding	Fractionering van baggerslib in een relatief schone en een aan verontreinigingen geconcentreerde fractie. Zowel voor metalen als voor organische verontreiniging	Toepassing en mogelijke implementatie voor Rotterdams klasse 3 slib is in onderzoek. Laboratoriumonderzoek aan klasse 3 en 4 slibben van andere herkomst is uitgevoerd	Hydrocyclonage concentreert een verontreiniging in een deelstroom. Deze deelstroom kan vervolgens worden gestort of verder verwerkt	Toepasbaarheid hydrocyclonage onderzoeken voor diverse verontreinigde onderwaterbodem (kanalen, rivieren, grachten) en optimalisatie van het proces uitgaande van verschillende praktijksituaties	f 0,50 tot f 10,- afhankelijk van scheidingsgrens en capaciteit	Onderzoek alleen uitgevoerd aan Rotterdams havenslib met één type cycloon
<u>Flotatie</u>							
Afscheiding van deeltjes uit suspensie via opdrijven door hechting van luchtbellen aan de deeltjes	- zuivering afvalwater - selectieve deeltjes afscheiding (mijnbouw) - bodemreiniging - olie/waterscheiding	Selectieve afscheiding van verontreinigde deeltjes: - hydrofobe deeltjes (olie, PAK, EOCL) - deeltjes bestaande uit metaalverbindingen	Toepassing in bodemreiniging op demonstratieniveau	Reiniging van sediment waarin de verontreiniging als deeltjes geïntroduceerd is of met olie verontreinigd sediment	Toepasbaarheid onderzoeken van flotatie aan sediment met veel kleine deeltjes (< 20 µm)	f 0,50 tot f 10,- afhankelijk van chemicaliënverbruik en deeltjesgrootte	Op dit moment wordt de mogelijkheid bestudeerd metalen uit sediment te verwijderen door selectieve flocculatie/flotatie
<u>Biologische behandeling</u>							
Biologische afbraak van verontreiniging bijvoorbeeld via landfarming of compostering	van landfarming: - verwerking oliehoudend slib - reiniging stranden	Reinigingsmethode voor met biologisch afbreekbare componenten verontreinigd sediment, of voor verontreinigde deelstromen	Toepassing in bodemsanering is in onderzoek	Reiniging van sediment voor wat betreft biologisch afbreekbare componenten	Versnelling van afbraak door meer procesmatige aanpak. Verbreding toepassingsgebied	tot f 40,- afhankelijk van snelheid biodegradatie	Knelpunten zijn: - Benodigd landoppervlak (4 m²/ton) - Verwerkings-tijd (2 jaar) - Uitdamping aan de lucht
<u>Solvent extractie</u>							
Afscheiden van organische verbindingen door oplossen in een organisch oplosmiddel	- productextractie in procesindustrie	Afscheiding van organische verontreinigingen	Toepassing in combinatie met hydrocyclonage voor havenslib op laboratoriumschaal onderzocht	Reiniging van sediment voor wat betreft organische verontreiniging. Afgewerkt extractiemiddel kan worden teruggewonnen voor hergebruik	Laboratoriumonderzoek naar: - type oplosmiddel - scheiding sediment oplosmiddel - terugwinning en reiniging oplosmiddel	f 10,- tot f 50,-	Extractiemiddel heeft mogelijk restwaarde vanwege calorische inhoud. Oriënterend onderzoek op laboratoriumschaal wordt op dit moment uitgevoerd

Thermische
behandeling

Afbraak organische componenten door thermische oxidatie	- afvalverwerking (huishoudelijk en industrieel) - zuiveringsslib - bodemreiniging	Beperkte toepassing van wege watergehalte van baggerslib, voor afbraak organische verontreiniging. Eventueel wel toepasbaar na voorafgaande ontwatering	Toepassing voor verontreinigde bodem op praktijkschaal	Reiniging van sediment voor wat betreft organische verontreiniging. Bij ongewenste emissies in de atmosfeer is een gaswasser gewenst	Laboratoriumonderzoek: - ontwatering - verbranding - gaswassing	> f 100,-	Voor afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen zoals PCB zijn hoge temperaturen nodig (≥ 1200 °C). Daartoe moeten de afgassen worden na-verbrand
---	--	---	--	--	--	-----------	--

Natte
luchtoxidatie

Afbraak organische componenten bij hoge temperatuur (200-350 °C) en hoge druk (tot 200 bar)	Afvalwater- en slibverwerking afkomstig van: - chemische industrie - papierindustrie	Hydrolyse en oxidatie van organische verontreinigingen in het uiterste geval tot CO ₂ en H ₂ O	Nog niet toegepast	Afbraak van organische verbindingen. Afbraak kan onvolledig zijn	Principiële mogelijkheid van toepasbaarheid voor sediment onderzoeken	> f 100,-	Inzetbaarheid gering vanwege beperkte capaciteit per installatie
---	--	--	--------------------	--	---	-----------	--

High Gradient
Magnetic Separation

Afscheiding van (para)magnetische deeltjes uit suspensie	- waterzuivering - kleiopwerking	Verwijdering van (para)magnetische deeltjes	Toepasbaarheid is nauwelijks onderzocht	Reiniging van sediment voor wat betreft zware metalen	Toepasbaarheid voor diverse met zware metalen verontreinigd sedimenten of overloopwater na sedimentatie of consolidatie	f 2,- tot f 20,-	Hoge investeringskosten. Echter lage verwerkingskosten vanwege hoge haalbare verwerkingscapaciteit. Techniek nog in beginstadium van ontwikkeling
--	-------------------------------------	---	---	---	---	------------------	---

Ionenwisseling

Extractie van metalen uit water	- Waterbehandeling	Verwijdering zware metalen na mobilisatie door aanzuren	Laboratoriumexperimenten aan havenslib zijn uitgevoerd	Reiniging van sediment voor wat betreft de zware metalen	Toepasbaarheid onderzoeken voor diverse met zware metalen verontreinigd sediment	f 20,- tot f 50,-	Oriënterend onderzoek op laboratoriumschaal geeft hoopvol resultaat
---------------------------------	--------------------	---	--	--	--	-------------------	---

Zuurloging

Afscheiden van metalen door oplossen in sterk zuur	- ertsverwerking	Verwijdering van zware metalen	Laboratoriumonderzoek uitgevoerd aan Neckarslib	Reiniging van sediment voor wat betreft zware metalen	Haalbaarheid onderzoeken voor diverse sedimenten	f 50,- - f 100,- Sterk afhankelijk van zuurverbruik	Bij hoog kalkgehalte in sediment veel reststoffen
--	------------------	--------------------------------	---	---	--	--	---

<u>Mechanische ontwatering</u>							
Scheiding van vaste stof en water door filteren of centrifugeren	- zuiveringsslib - produktontwatering in procesindustrie	Ontwatering van geconcentreerde deelstroom na hydrocyclonage	Reeds lang op praktijk-schaal toegepast	Verkleining van het volume voor (gecontroleerde) stort	Meest geschikte methode selecteren voor diverse sedimenten	tot f 20,- afhankelijk van chemicaliën-verbruik	Beperkte capaciteit tot ca. 30 m ³ /h per apparaat
<u>Elektroösmotische ontwatering</u>							
Verregaande ontwatering door combinatie van osmose en elektrisch veld	- verdichting van klei	Ontwatering van geconcentreerde deelstroom na hydrocyclonage	Experimenteel stadium	Verkleining volume tot dezelfde graad als bereikt wordt door natuurlijke consolidatie	Toepasbaarheid en haalbaarheid onderzoeken	?	In Nederland voldoende basis-kennis aanwezig

1) Deze kosten hebben uitsluitend betrekking op de genoemde processtap. Hierbij zijn derhalve niet inbegrepen de kosten voor baggeren, transport, voorbereiding, nabewerking en dergelijke.

Tabel 6.1 Reinigingstechnieken na afgraven.

Toepasbaarheid bij verschillende grondtypen

+ : in principe toepasbaar

0 : soms toepasbaar, minder goed toepasbaar

- : in het algemeen niet toepasbaar/
of toepassing niet relevant

? : toepasbaarheid onzeker of niet bekend

METHODEN

	humusarme zandgronden	humusrijke zandgronden	humusarme leemhoudende gronden	humusrijke leemhoudende gronden	leem- en kleiachtige gronden	veen- en veenachtige gronden	gestratificeerde gronden (sterk heterogeen)
<u>Thermische methoden</u>							
* Stroomstrippen	+	+	+	+	-?	0	0
* Uitdampen (circa 300 °C) met:							
- afgassen naverbranden	+	+	+	+	0	0?	0?
- afgassen katalytisch nabehandelen	+	+	+	+	0	0?	0?
- natte gasreiniging	+	+	+	+	0	0?	0?
* Uitdampen (600-800 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	+	+	+	+	+/-	0?	+/-
* Verbranden van grond (800-1000 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	+	+	+	+	0	+	+
<u>Extractie</u>							
* Op waterbasis	+	0	0	0	-	?	0
* Met organisch oplosmiddel (oplosmiddel in het algemeen in water oplosbaar)	+	0	0	0	0/-	?	0
* Flotatie	+	0	0	0	-	-?	0/-
<u>Chemische behandeling</u>							
* Oxidatie/reductie	+	0	+	0	+/-	0/-	0
* Neutralisatie (pH-bijstelling)	+	+	+	+	+/-	0	0
<u>Biologische behandeling</u>							
* Landfarming (vgl. sludgefarming)	+	+	+	+	+/-	+	+
* Compostering (bedrijfsmatig)	+	+	+	+	0	+	+

Tabel 6.2 Reinigingstechnieken na afgraven

Toepasbaarheid bij verschillende typen verontreinigingen

+ : in principe toepasbaar
 0 : soms toepasbaar of minder goed toepasbaar
 - : in het algemeen niet toepasbaar/ of toepassing niet relevant
 ? : toepasbaarheid onzeker, niet bekend

METHODEN

	zware metalen (labiel)	zware metalen (hechtgebonden)	cyaniden (vrije)	cyaniden (complexe)	alifaten (vluchtig)	alifaten (hoogkokend)	aromaten (enkelvoudig)	aromaten (polycyclisch)	gehalog. koolwaterstoffen (polair, wateroplosbaar)	gehalog. koolwaterstoffen (apolair, wateronoplosbaar)	bestrijdingsmiddelen (polair, wateroplosbaar)	bestrijdingsmiddelen (apolair, wateronoplosbaar)	overige
<u>Thermische methoden</u>													
* Stoomstrippen	-	-	-	-	+	0	+	0	0	+/-	-?	0	-
* Uitdampen (circa 300 °C) met:													
- afgassen naverbranden	-	-	0?	0	+	0	+	0	0	0	0/-	0/-	-
- afgassen katalytisch nabehandelen	-	-	0?	0	+	0	+	0	0	0	0/-	0/-	-
- natte gasreiniging	-	-	0?	0	+	0	+	0	0/+	0/+	0/+	0/+	-
* Uitdampen (600-800 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-?	-	+	+	+	+	+	+	+/-	+/-	0	0	-
* Verbranden van grond (800-1000 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0/-
<u>Extractie</u>													
* Op waterbasis	+	+	+	+	+/-	0	+/-	0	+	+/-	+	+/-	+
* Met organisch oplosmiddel (oplosmiddel in het algemeen in water oplosbaar)	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0	0	-
* Flotatie	+	-	+	0	+	+	+	0	0	+	+	+	0
<u>Chemische behandeling</u>													
* Oxidatie/reductie	-	-	+	?	0?	-?	0?	-?	-?	-?	-?	-?	-?
* Neutralisatie (pH-bijstelling)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+ ¹⁾
<u>Biologische behandeling</u>													
* Landfarming (vgl. sludgefarming)	-	-	+	-?	+	+	+	0	0?	0/-?	0?	0/-?	0
* Compostering (bedrijfsmatig)	-	-	+	-?	+	+	+	0	0?	0/-?	0?	0/-?	0

1) in geval van zuur/base verontreiniging

Tabel 6.3 Reinigingstechnieken na afgraven.

Karakteristieke aspecten en kosten

METHODEN	Karakteristieke aspecten en kosten				
	Energiebehoefte	Benodigde hoeveelheid hulpstoffen	Reststoffen-problematiek	Toepassingsmogelijkheden bij gelijktijdig voorkomen van verschillende typen verontreinigingen	Saneringskosten (in guldens per ton grond)
<u>Thermische methoden</u>					
* Stoomstrippen	0/-	+	0	-	75/150
* Uitdampen (circa 300 °C) met:					
- afgassen naverbranden	0/-	+	+	0	75/150
- afgassen katalytisch behandelen	0/-	+	+	0	75/150
- natte gasreiniging	0/-	+	+	0	75/150
* Uitdampen (600-800 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-	+	+	0/+	100/300
* Verbranden van grond (800-1000 °C) (inclusief nabehandeling van gassen)	-	+	+	0/+	150/400
<u>Extractie</u>					
* Op waterbasis	+	0	-	+	50/200
* Met organisch oplosmiddel (oplosmiddel in het algemeen in water oplosbaar)	+	0	-	+	100/200
* Flotatie	+	0	-	0	80/150
<u>Chemische behandeling</u>					
* Oxidatie/reductie	+	-	+ / 0	-	25/150
* Neutralisatie (pH-bijstelling)	+	0/-	+	-	25/ 75
<u>Biologische behandeling</u>					
* Landfarming (vgl. sludgefarming)	+	0	+	- / 0	25/100
* Compostering (bedrijfsmatig)	+	0	+	- / 0	25/100