Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW)
Fase II (1992-1996)

projectleiding en secretariaat:
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)
Postbus 17, 8200 AA Lelystad 0320-298456/298533

PRAKTIJKPROEF THERMISCHE VERWERKING VAN BAGGERSPECIE UIT DE PETROLEUMHAVEN AMSTERDAM

opdrachtgever:
Rijkswaterstaat:
Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW)

maart 1998

RIZA Rapport: 97.070
ISBN: 90 369 51 178

VOORWOORD

Voor u ligt het rapport praktijkproef thermische verwerking van bagggerspecie uit de Petroleumhaven Amsterdam. Dit rapport beschrijft de resultaten van een praktijkproef in het kader van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems fase II (1992-1996).

Doelstelling van de praktijkproef was het demonstreren en beproeven van een complete saneringsketen met thermische reiniging op praktijkschaal.

De keten bestond uit de volgende stappen:

- baggeren
- ontwateren
- transport en tijdelijke opslag
- thermische reiniging
- nuttige toepassing in een werk

In totaal is 550 m^3 ernstig met minerale olie en polycyclische aromaten verontreinigde baggerspecie verwerkt tot 574 ton nuttig toepasbare grond (zogenaamde categorie I grond). De proef heeft daarmee aangetoond dat verwerking volgens bovenstaande keten technisch uitvoerbaar is.

De proef is mede succesvol uitgevoerd door de grote en constructieve inzet van de diverse betrokken uitvoerders.

Namens het Advies en Kenniscentrum Waterbodems van Rijkswaterstaat,

Ir. J. Rienks, maart 1998

SAMENVATTING

In opdracht van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling is in het kader van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW) een praktijkproef uitgevoerd naar de verwerking van baggerspecie bestaande uit de volgende keten:

- baggeren
- ontwateren
- transport en opslag
- thermische reiniging
- nuttige toepassing in een werk

De doelstellingen van de praktijkproef luidden als volgt:

- de demonstratie van een "complete" saneringsketen met thermische reiniging op praktijkschaal;
- het verkrijgen van praktijkinformatie over het functioneren van de ontwatering en vooral de thermische reiniging om de inzetbaarheid van deze technieken bij waterbodemsanering nader te beoordelen.

De praktijkproef is begeleid door Consulting Bureau Scarabee en uitgevoerd door de firma Kurstjens (onderdeel ontwateren) en de firma Ecotechniek (thermische reiniging). Niebeek Milieu Management heeft het baggeren begeleid, dat als meerwerk op de derde POSW-pilotsanering (biologische reiniging) is uitgevoerd. Iwaco heeft laboratoriumonderzoek uitgevoerd naar het uitlooggedrag van anorganische stoffen voor en na thermische verwerking.

Voor de praktijkproef is 550 m^3 verontreinigde specie gebaggerd in de Petroleumhaven te Amsterdam. De verontreiniging bestond voornamelijk uit polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK, gemiddeld ruim 200 mg/kg ds) en minerale olie (gemiddeld 1500 mg/kg ds).

De baggerspecie heeft zich in het beunschip op natuurlijke wijze gescheiden in een slibrijke en een zandrijke partij. De slibrijke partij is ontwaterd in een decanteercentrifuge na vlokvorming met één soort polyelectroliet. Het bereikte droge stof gehalte bedroeg gemiddeld 56% m/m. De zandrijke partij is uit het schip geknepen, het droge stof gehalte was gemiddeld 81% m/m.

De thermische verwerking van de slibrijke en zandrijke ontwaterde baggerspecie is gescheiden uitgevoerd. Alle organische verontreinigingen en kwik zijn verwijderd tot onder de streefwaarden voor grond.
Op grond van gemeten samenstelling en uitloogonderzoek van zware metalen is 574 ton (gemiddeld 90% ds) gereinigd materiaal afgezet als categorie I ophoogzand bij de aanleg van een industrieterrein te Gouda.

Het uitloogonderzoek heeft aangetoond dat de uitloging van de meeste zware metalen afneemt na thermische verwerking bij 600°C. Daarentegen neemt de uitloging toe voor de componenten fluoride, arseen en molybdeen. Daar de gehalten aan deze stoffen meestal onder de streefwaarde liggen, zal dit niet tot problemen bij de afzet leiden. Uit de ontbinding van bepaalde kleimineralen kan geconstateerd worden dat de verwerkingstemperatuur inderdaad rond de 600°C heeft gelegen. Verder blijkt uit de vorming van magnetiet dat de omstandigheden tijdens thermische verwerking in de praktijk reducerend zijn.
Daar de Petroleumhaven brak water bevat, bevat het materiaal verhoogde gehalten aan zoutanionen als bromide, chloride en sulfaat welke snel uitspoelen. Door een wasstap kunnen deze stoffen desgewenst worden verwijderd.

Op basis van de praktijkproef is aangetoond dat baggerspecie effectief verwerkt kan worden waarbij organische verontreinigingen en kwik tot onder de streefwaarde worden verwijderd.

De samenstelling van de baggerspecie speelt een rol bij de ontwatering: hogere gehalten aan fijne deeltjes en humus leiden tot lagere droge stofgehalten. Een lager droge stofgehalte leidt weer tot een hoger energieverbruik bij de thermische verwerking.

Daar de uitloging van zware metalen bij toetsing aan het Bouwstoffenbesluit mee blijkt te vallen, is nuttige toepassing van thermisch gereinigde baggerspecie vooral afhankelijk van de gehalten aan zware metalen. Als vuistregel kan worden aangehouden dat de gehalten aan zware metalen in het gereinigde produkt ruwweg 10 % onder de interventiewaarde uit de Wet Bodembescherming dienen te liggen. Alleen kwik wordt verwijderd bij temperaturen tot 600°C.

De kosten voor de verwerking zijn afhankelijk van de samenstelling van de baggerspecie. Thermische desorptie is in staat alle soorten baggerspecie en hun fracties effectief te verwerken. Voor de zandfractie zijn er operationele alternatieve methoden als flotatie, terwijl er voor fijne fractie nog geen operationele alternatieven zijn die tot onder de streefwaarde kunnen reinigen.
De totale verwerkingsketen na baggeren kan afhankelijk van de schaalgrootte tegen kosten tussen de *f* 130 tot 200,- per ton ds worden uitgevoerd (zie tabel 1), gebaseerd op een baggerspecie met een laag aandeel zand (fractie > 63 µm is minder dan 20% m/m). Voor baggerspecie met meer zand liggen zullen de verwerkingskosten per ton droge stof lager liggen.

Een ontwikkeling voor verdere kostprijsverlaging is een verwerkingsketen met thermische reiniging direct na het baggeren. Bij het baggeren zal de specie met zo min mogelijk water ontgraven moeten worden ("dik baggeren"). De thermische grondreinigingsinstallatie zal dan bestaan uit een droger met een invoersysteem, die in staat is om kleverige materialen met grove vreemde delen te verwerken en een gloeitrommel. Na de droogstap zijn alle grotere delen eenvoudig uit het vaste materiaal te zeven.
De geraamde kostprijs voor verwerking kan dan afnemen tot *f* 100 per ton ds voor de hele verwerkingsketen bij grootschalige toepassing bij een capaciteit van 250 kton ds/jaar.

Tabel S1: Totale kosten keten thermische verwerking baggerspecie in *f* per ton d.s.

onderdeel	**capaciteit 100.000 ton d.s./jaar**	
	met ontwatering	**zonder ontwatering *)**
baggeren + nat transport	p.m.	p.m.
fractionering + ontwateren	ca. 45	-
transport per as	p.m.	p.m.
thermische verwerking incl. afzet	ca. 160	ca. 160
totaal	ca. 200 + p.m.	ca. 160 + p.m.
onderdeel	**capaciteit 250.000 ton d.s./jaar**	
	met ontwatering	**zonder ontwatering *)**
baggeren + nat transport	p.m.	p.m.
fractionering + ontwateren	ca. 30	-
transport per as	p.m.	p.m.
thermische verwerking incl. afzet	ca. 100	ca. 100
totaal	ca. 130 + p.m.	ca. 100 + p.m.

*) in geval van dik baggeren en een speciale droger

INHOUD pag.

1. INLEIDING **5**

2. PROEFOPZET **7**

2.1 Beschrijving ontwatering 7
2.2 Beschrijving thermische grondreinigingsinstallatie 8
2.3 Beschrijving onderzoek uitlooggedrag 10

3. VERLOOP VAN DE PROEF IN DE PRAKTIJK **11**

3.1 Tijdschema 11
3.2 Aanleveren baggerspecie 11
3.3 Mechanische ontwatering 11
3.4 Tussenopslag 12
3.5 Thermische reiniging 13

4. RESULTATEN **15**

4.1 Mechanische ontwatering 15
4.2 Thermische reiniging 16
4.3 Massabalans droge stof en zware metalen 20

5. CONCLUSIES **23**

5.1 Ontwatering 23
5.2 Thermische reiniging 23
5.3 Uitlooggedrag voor en na thermische verwerking 24

6. BETEKENIS VAN DE PROEFREINIGING VOOR WATERBODEMSANERING **25**

6.1 Soorten baggerspecie / soorten verontreinigingen 25
6.2 Energieverbruik 25
6.3 Verwerkingsketen voor baggerspecie met thermische behandeling 26
6.4 Kosten 26
6.5 Aanbevelingen verder onderzoek 28

7. LITERATUUR **29**

Bijlagen:

Bijlage 1 Overzicht tekening van Petroleumhaven met locatie baggervak
Bijlage 2 Rapportage baggerspecie bemonstering en analyseresultaten ontwaterde baggerspecie
Bijlage 3 Grafieken temperatuur- en capaciteitsverloop thermische verwerking
Bijlage 4 Toetsing samenstelling gereinigde baggerspecie en Aanvullend uitloogonderzoek
Bijlage 5 Vergunningsvoorschriften luchtemissies grondreinigingsinstallatie Ecotechniek Botlek
Bijlage 6 Schema praktijkproef thermische verwerking baggerspecie Petroleumhaven met massastromen
Bijlage 7 Fotoreportage

1. INLEIDING

In het kader van het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems (POSW) is van september 1996 tot april 1997 een pilotsanering met biologische reiniging van circa 5000 m^3 baggerspecie uit de Petroleumhaven te Amsterdam uitgevoerd. De coördinatie van het POSW-programma berust bij het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), een technisch-wetenschappelijke dienst van Rijkswaterstaat.
De baggerspecie uit de Petroleumhaven is ernstig verontreinigd met minerale olie en PAK (klasse IV-materiaal). Het hoofddoel van het project was demonstratie van biologisch reinigen van baggerspecie. Als alternatieve saneringsmethode is bij wijze van proef een kleinere hoeveelheid baggerspecie thermisch gereinigd. De hoeveelheid in dit proefproject bewerkte baggerspecie was ca. 550 m^3, naar verwachting 300 ton droge stof (slib).

Consulting Bureau Scarabee heeft de opdracht gekregen voor:
- het begeleiden van de verwerking van baggerspecie vanaf ontvangst in een beunschip tot en met de thermische verwerking;
- de controle van de kwaliteit van de baggerspecie door middel van bemonstering van het materiaal in de verschillende stadia van verwerking;
- de rapportage van de werkzaamheden met omschrijving van de toegepaste bewerkingen, en de uitvoerbaarheid van de bewerkingen voor baggerspecie.

De doelstelling van de gehele proef is tweeledig:
- de demonstratie van een "complete" saneringsketen met thermische reiniging op praktijkschaal;
- het verkrijgen van praktijkinformatie over het functioneren van de ontwatering en vooral de thermische reiniging om de inzetbaarheid van deze technieken bij waterbodemsanering nader te beoordelen.

Dit rapport omvat een beschrijving van de proefopzet in hoofdstuk 2, de uitvoering van de proef in hoofdstuk 3, de resultaten in hoofdstuk 4 en de conclusies in hoofdstuk 5.
In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de betekenis van deze proef voor de verwerking van verontreinigde baggerspecie.

2. PROEFOPZET

2.1 Beschrijving ontwatering

Vooronderzoek
De doelstelling van de mechanische ontwatering van de baggerspecie is het verkrijgen van een steekvaste partij met een zo hoog mogelijk droge stof gehalte.
Het bereikbare droge stof gehalte wordt bepaald door de samenstelling van de baggerspecie, met name het organische stof gehalte en de fijne korrelfractie.
Een monster baggerspecie uit de Petroleumhaven is in een eerder stadium onderzocht op de mogelijkheid van chemische vlokking om de ontwaterbaarheid te verbeteren [1].
Hierbij is vastgesteld dat een vlokking met één enkele vlok kan leiden tot een droge stof gehalte van ca. 44%, terwijl vlokking met een duo vlok kan leiden tot een droge stof gehalte van 46-48%. Uitgangspunt was mechanische ontwatering met een zeefbandpers.
Een aantal bedrijven is gevraagd een prijsaanbieding te doen voor de mechanische ontwatering van de baggerspecie. Hierbij werd speciale aandacht gevraagd voor het bereiken van een zo hoog mogelijk droge stof gehalte.
De firma Kurstjens BV deed de meest interessante aanbieding. Zij garandeerden een minimaal droge stof gehalte van 50%, en verwachtten een droge stof gehalte van 55-60%.
De firma Kurstjens was de enige die als ontwateringstechniek een decanteercentrifuge aanbood.

Werkwijze.
De bij de start van de ontwatering overeengekomen werkwijze was als volgt:
De baggerspecie wordt ontwaterd op de locatie van Ruhr Carbo Milieu (RCM) aan de Petroleumhaven.
De baggerspecie wordt aangeleverd in een beunschip aan de kade. Er wordt een beperkte hoeveelheid water aan de specie in het schip toegevoegd en de specie wordt met een roerder in suspensie gebracht. De specie wordt opgepompt en naar de container met decanteercentrifuge gevoerd. In het leidingsysteem wordt "on line" vlokmiddel toegevoegd. De ontwaterde baggerspecie wordt uit de decanteercentrifuge met een transportband gestort in een waterdichte container. De volle container wordt afgedekt met een zeil.
Na de produktie van 100 ton ontwaterde baggerspecie (4 containers) wordt een representatief monster genomen en geanalyseerd.
Bij een zodanig laag zware metaal gehalte dat hergebruik na thermische verwerking mogelijk is, wordt de baggerspecie afgevoerd naar de thermische verwerkingsinstallatie van Ecotechniek in de Botlek.
De veiligheidseisen van de locatie van Ruhr Carbo Milieu zijn van toepassing. Hierbij zijn de belangrijkste eisen geen open vuur en geen stankproduktie.

Metingen
De baggerspecie is bemonsterd en geanalyseerd. De wijze van bemonstering is gerapporteerd en opgenomen in bijlage 2.

Tijdens de mechanische ontwatering heeft Kurstjens bv de volgende metingen verricht:
- debiet verpompte baggerspecie van het schip naar de installatie;
- draaiuren van de decanteercentrifuge;
- regelmatige droge stofbepaling op de invoer en de uitvoer van de decanteercentrifuge met een lokale meetinstallatie voor droge stofbepaling (niet genormeerd);
- polymeerverbruik;
- urenteller bedrijfsvoering decanteercentrifuge;
- volume afvoer proceswater.

Het gewicht van de afgevoerde ontwaterde baggerspecie is gemeten op een geijkte weegbrug van de stortplaats Nauerna en geregistreerd. Tevens is de ontwaterde baggerspecie bij ontvangst bij de thermische grondreiniginginstallatie van Ecotechniek Botlek gewogen op een geijkte weegbrug en geregistreerd.

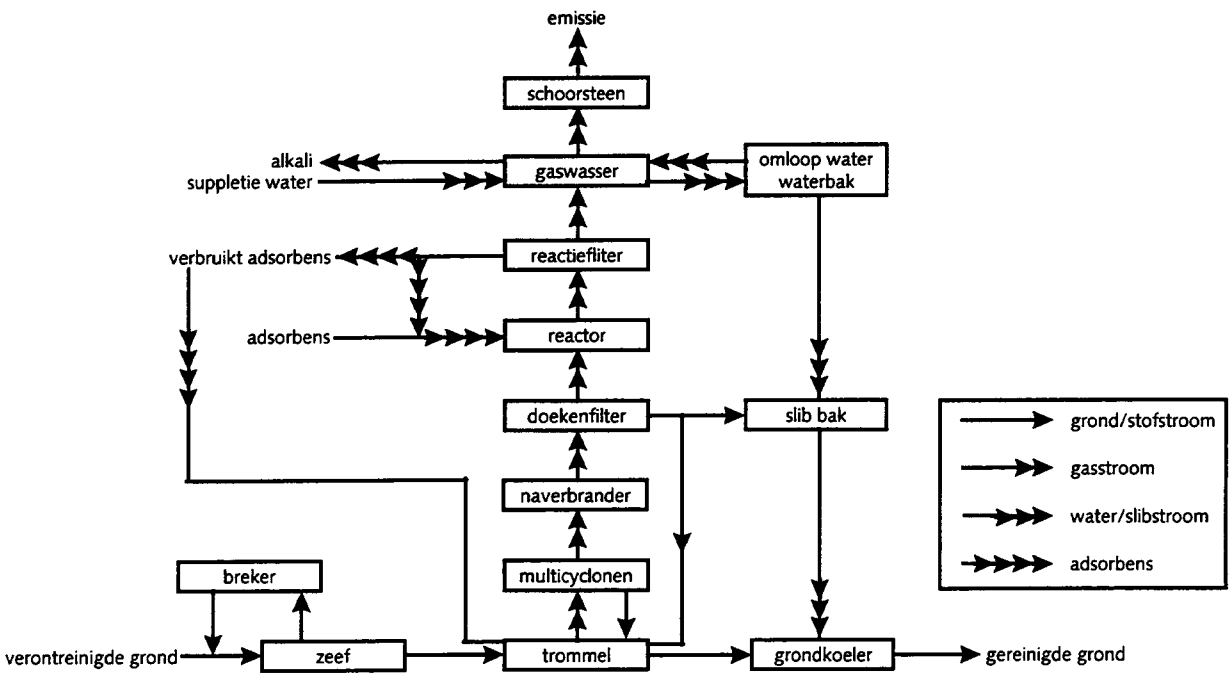
2.2 Beschrijving thermische grondreinigingsinstallatie

Inleiding
In de navolgende tekst wordt de thermische grondreinigingsinstallatie van Ecotechniek Bodem BV te Rotterdam (Botlek) beschreven. Hier heeft de thermische reiniging plaats gevonden. In figuur 1 is een schema van de grondreinigingsinstallatie tijdens de (reguliere) procesvoering weergegeven.

Grondstroom
De verontreinigde ontwaterde baggerspecie wordt vanuit een opslagdepot in een doseertrechter gestort. Via transportbanden wordt de ontwaterde baggerspecie naar een zeef- en brekermachine gevoerd welke voorzien is van een magneetafscheider voor de verwijdering van eventuele ijzeren delen uit de ontwaterde baggerspecie. Indien de vuile ontwaterde baggerspecie te hoge concentraties aan verontreinigingen, een te hoog aandeel fijn stof zou bevatten en/of verkleving aan transportbanden optreedt, bestaat de mogelijkheid om opmengmateriaal zoals b.v. schone grond via een doseertrechter toe te voegen. Op deze wijze wordt een verlaging van de ingangsconcentratie gerealiseerd, wordt het aandeel fijn stof verlaagd en kan het kleefgedrag worden beperkt.
Via transportbanden wordt de gezeefde ontwaterde baggerspecie naar de invoerschroef van de roterende trommel geleid.
De baggerspecie wordt in de roterende trommel indirect en direct verhit. In het eerste deel van de trommel wordt de baggerspecie indirect door de hete rookgassen tot ca. 300°C voorverwarmd. Hierdoor verdampen met name water en vluchtige componenten uit de baggerspecie. In het tweede deel van de trommel wordt de baggerspecie direct verhit tot max. 600°C. Het gereinigde materiaal wordt uit de trommel afgevoerd en tot 75 à 90°C met water gekoeld. Vervolgens wordt het materiaal naar een opslagdepot voor gereinigde grond getransporteerd.

Procesgasstroom
De vrijkomende gassen in de trommel worden afgezogen via een ventilator.
Deze gasstroom bestaat voornamelijk uit water, brandergassen van de gasbrander en de verdampte verontreinigingen uit de baggerspecie. De procesgasstroom wordt voor ontstoffing door een serie van multicyclonen geleid, voorverwarmd in een warmtewisselaar en naar een naverbrander geleid. Het stof dat wordt afgevangen in de multicyclonen wordt door de vlam van de trommelbrander in de trommel gevoerd. In de naverbrander worden de verontreinigingen in het afgas vernietigd tot CO_2, H_2O en HCl. Aan het eind van de naverbrander verwarmt de hete gasstroom de ingaande gasstroom van de naverbrander via een warmtewisselaar. Het procesgas verwarmt daarna het indirecte deel van de trommeloven om vervolgens de branderlucht van de gasbranders voor te verwarmen met behulp van een warmtewisselaar.
De gasstroom wordt vervolgens in een doekenfilter ontstoft en in de adsorbenseenheid geleid. De adsorbenseenheid bestaat uit een reactor en reactiefilter. In de reactor wordt een adsorbens aan de gasstroom toegevoegd. In de meeste gevallen bestaat het adsorbens uit kalk. Tevens kan het adsorbens bestaan uit een mengsel van kalk en kool. Bij de reiniging van ontwaterde baggerspecie eventueel verontreinigd met gehalogeneerde koolwaterstoffen en/of kwik wordt kool aan de kalk toegevoegd. De kalk verwijdert de zure componenten zoals SO_2 en HCl uit de afgassen. Actieve kool verwijdert de eventueel aanwezige organische componenten zoals dioxinen en furanen en het eventueel aanwezige kwik. Het adsorbens met verontreiniging wordt afgevangen in het reactiefilter en grotendeels gerecirculeerd. Zodoende wordt een mengsel van "vers" adsorbens en recirculatie-adsorbens aan de reactor toegevoegd. Een klein deel adsorbens wordt in de trommel nabehandeld. De gasstroom wordt vervolgens door een gaswasser geleid, waarna het gas via een schoorsteen wordt geëmitteerd.

Waterstroom
Voor koeling van de thermisch gereinigde baggerspecie is water nodig. Dit water wordt onder meer onttrokken uit het circuit van de natte gaswasser. De gaswasser wordt constant met in de eigen waterzuivering gereinigd (afval)water afkomstig van het terrein gesuppleerd. Bij een tekort aan gezuiverd water wordt vers leidingwater toegevoegd.



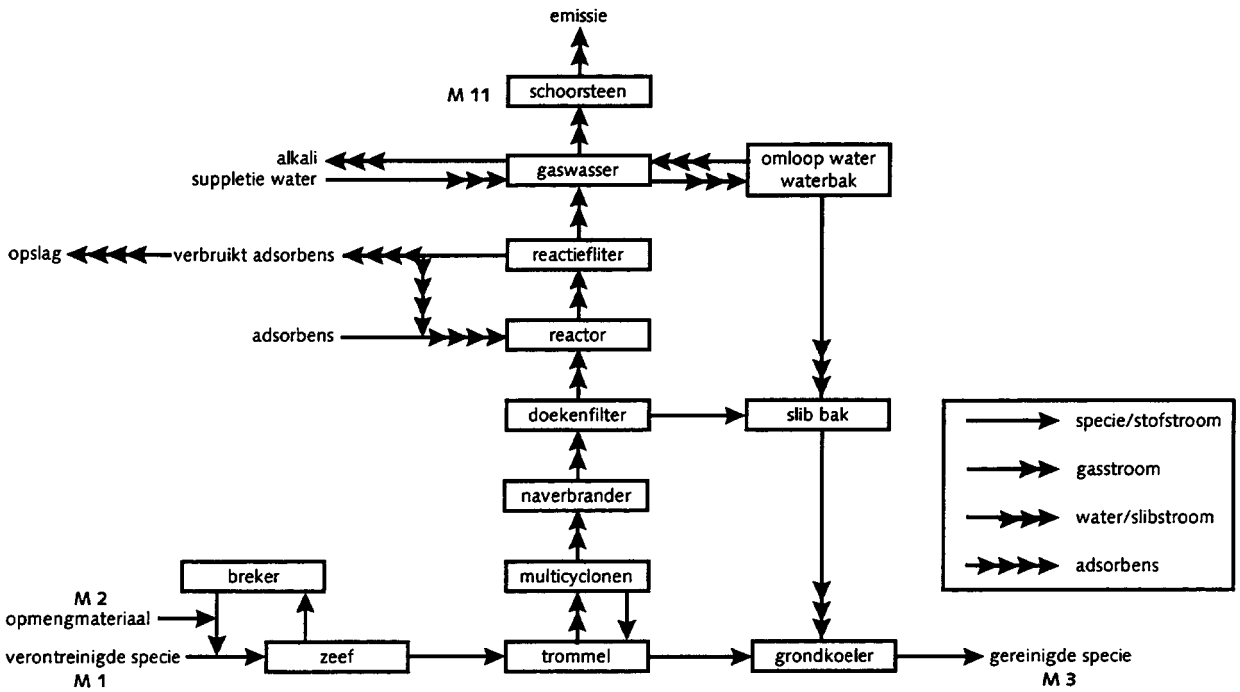
Figuur 1: Processchema van de grondreinigingsinstallatie te Botlek tijdens reguliere procesvoering.

Metingen
Gedurende de proefreiniging is door personeel van Ecotechniek zowel de ingaande als de uitgaande vaste stroom bemonsterd. Het analyseren van de monsters is door een onafhankelijk en gecertificeerd laboratorium, Alcontrol BV te Hoogvliet, uitgevoerd. De ingevoerde baggerspecie en het gereinigde produkt zijn tevens onderzocht op de uitloogbaarheid van de aanwezige metalen om de mobiliteit na reiniging vast te kunnen stellen.
De metingen in de installatie zijn uitgevoerd volgens de procedures die beschreven staan in het procedurehandboek Bedrijfs Intern Milieuzorgsysteem (BIM). Aan het systeem liggen de British Standard (BS 7750) en de ISO-9001 norm ten grondslag.
In figuur 2 zijn de meetpunten in de installatie weergegeven waar tijdens de proefreiniging monstername en analyse heeft plaatsgevonden.

De voor het onderzoek relevante meetpunten zijn:
M 1: ingaande verontreinigde ontwaterde baggerspecie;
M 2: ingaand opmengmateriaal (deels zand van locatie Bennekom + deels gereinigde slibrijke specie die vrij is gekomen bij een te lage temperatuur in de gloeitrommel)
M 3: uitgaande gereinigde baggerspecie;
M 11: geëmitteerde rookgassen.

De ingaande ontwaterde baggerspecie, meetpunt M1, en het ingaande opmengmateriaal, meetpunt M2, zijn elk half uur bij de invoertrechter bemonsterd door Ecotechniek. Van de vaste stofstroom, meetpunt M3 zijn eveneens elk half uur monsters genomen van de afvoerband. Elk uur zijn van de genomen monsters mengmonsters samengesteld.
De directievoerder van de opdrachtgever heeft een apart monster genomen van de totale hoeveelheid gereinigde zandrijke en slibrijke baggerspecie. De wijze van bemonstering is identiek aan de wijze van bemonstering van de ontwaterde baggerspecie. De beschrijving van die bemonstering is opgenomen in bijlage 2.
Het analyseren van de gereinigde baggerspecie is uitgevoerd door de opdrachtgever en Ecotechniek Bodem BV. De vervuilde en gereinigde baggerspecie zijn onderzocht op zware metalen, minerale olie, EOX en PAK's en op uitloging (kolomtest) van de aanwezige zware metalen.

De emissies naar de lucht, meetpunt M11, zijn continu gemeten en geregistreerd op de componenten CO, NO_X, SO_2 en C_XH_Y, en de parameters temperatuur, druk en debiet.



Figuur 2: Meetpunten tijdens de proefreiniging

2.3 Beschrijving onderzoek uitlooggedrag

Inleiding
In de praktijk is bij thermische grondreiniging gebleken dat het uitlooggedrag van de grond verandert door de thermische behandeling.
Met speciaal onderzoek kan de invloed van de thermische behandeling worden onderzocht en kan inzicht worden verschaft in de processen, die daarbij een rol spelen.

Onderzoek
Het onderzoek bevatte de karakterisatie van een monster onbehandelde baggerspecie en een monster thermisch behandelde baggerspecie, en het uitlooggedrag van beide monsters. De karakterisatie heeft bestaan uit de vaststelling van de minerale samenstelling, het specifieke oppervlak en de cationic exchange capacity. Verwacht wordt dat deze karakteristieke bepalingen van de grond meer inzicht geven in het uitlooggedrag.
Het onderzoek is in twee fasen uitgevoerd: allereerst is een monster genomen waarvan de helft direct is onderzocht en de andere helft na thermische behandeling op laboratoriumschaal. De thermische behandeling heeft bestaan uit verhitting in een oven rond 600°C gedurende 10 minuten.
In de tweede fase is een monster van de partij ontwaterde slibrijke baggerspecie onderzocht voor en na thermische behandeling op praktijkschaal.
De vergelijking tussen beide onderzoeksresultaten leidt tot conclusies over de proces-omstandigheden, waarbij de thermische behandeling plaatsvindt en de invloed op de samenstelling van de vaste stof en het aantal bindingsplaatsen voor zware metalen.

3. VERLOOP VAN DE PROEF IN DE PRAKTIJK

3.1 Tijdschema

De tijdsvolgorde van de werkzaamheden zoals die uiteindelijk zijn uitgevoerd was als volgt:

12 september 1996	start bespreking op locatie
16 september 1996	aanvoer van decanteercentrifuge
18 september 1996	baggeren en aanvoer van 550 m^3 baggerspecie in beunschip
18 september 1996	opbouw van decanteercentrifuge gereed
20 september 1996	proefdraaien met baggerspecie en start produktie
2 oktober 1996	stilstand centrifuge vanwege te hoog zandgehalte
3 oktober 1996	laatste ontwatering van fijne fractie baggerspecie
7 oktober 1996	oplevering van schoon beunschip
8 oktober 1996	afvoer van decanteercentrifuge
11 oktober 1996	laatste ontwaterde baggerspecie afgevoerd naar tijdelijke opslag te Nauerna
30 - 31 oktober 1996	transport baggerspecie Nauerna naar Ecotechniek Botlek
5 - 7 november 1996	thermische reiniging bij Ecotechniek Botlek
tot 7 januari 1997	afvoer gereinigd materiaal naar uitbreidingsplan 'Gouwestroom' te Gouda; toepassing: ophoogzand.

3.2 Aanleveren baggerspecie

De specie voor de proef met thermische reiniging is gebaggerd op 18 september 1996.
De specie is afkomstig uit een vak midden in de Petroleumhaven. De locatiekeuze en de baggerwerkzaamheden zijn begeleid door Niebeek Milieumanagement en gerapporteerd [2]. In bijlage 1 is een overzichtskaart opgenomen van de baggerlocatie.
De baggerspecie zou volgens zojuist genoemd onderzoek een dichtheid hebben van 1,4 ton/m; en een droge stof gehalte van 40%. De 550 m^3 gebaggerde specie zou dan een gewicht hebben van 770 ton; 308 ton droge stof en 462 ton water.
De baggerspecie is in een beunschip op 18 september aangeleverd voor de wal bij RCM.
De analyseresultaten van de baggerspecie in het beunschip tonen een droge stof gehalte van 66,8 gew.% en een fractie kleiner dan 63 µm van 15 gew.%. De baggerspecie bleek een veel hoger droge stof gehalte en een veel hogere zandfractie te hebben dan op grond van het vooronderzoek ten behoeve van de pilotsanering biologische reiniging verwacht mocht worden.
De zware metaalgehalten liggen alle onder de streefwaarden met uitzondering van het kwikgehalte dat boven de streefwaarde ligt (0,5 mg/kg ds in plaats van 0,3 mg/kg ds).

3.3 Mechanische ontwatering

Onverwachte omstandigheden.
Twee onverwachte omstandigheden hebben de uitvoering van de mechanische ontwatering anders doen lopen dan voorgesteld. Deze omstandigheden zijn:

Samenstelling baggerspecie:
De baggerspecie bevatte gemiddeld een aanzienlijk kleiner aandeel fijne fractie (< 63 µm) dan verwacht. De verwachte fijne fractie was 30-50% m/m d.s., de in het mengmonster aangetroffen fijne fractie bleek 15% m/m d.s. te zijn.

Baggerspecie met een te grote hoeveelheid zand (ca. 50% m/m fijn zand van de droge stof) kan niet door een decanteercentrifuge verwerkt worden. Door de opgewerkte centrifugaalkrachten wordt het zand te compact en loopt de machine vast.

Ontvangst bij Ecotechniek:
De vergunning van Ecotechniek is afgegeven voor een aantal gedefinieerde vaste stof stromen. Ontwaterde baggerspecie wordt door het bevoegd gezag, in dit geval DCMR, niet beschouwd als grond. Een aparte toestemming is dan vereist. De toestemming was nog niet verkregen bij het afronden van de ontwatering. Daardoor was tijdelijke opslag noodzakelijk. De afvoer naar Ecotechniek is gestart nadat de toestemming verkregen was.

Uitvoering van de mechanische ontwatering.
De baggerspecie heeft zich bij het inbrengen in het beunschip gescheiden in een fijnere baggerspecie op de kopse kanten en een zandrug in het midden van het beunschip (zie fotoreportage, bijlage 7).
De firma Kurstjens is op 20 september 1996 begonnen de specie in suspensie te brengen aan één van de kopse kanten. De baggerspecie is met pompen opgezogen en naar de decanteer-centrifuge geleid.
De ontwatering van de eerste partij baggerspecie verliep goed. Het gemiddeld bereikte droge stof gehalte was 56% m/m ds.
Nadat deze hoeveelheid was verwerkt bleek op 25 september zoveel zand in de opgepompte baggerspecie aanwezig te zijn dat de decanteercentrifuge begon vast te lopen.
De werkwijze is vanaf die datum gewijzigd.
De fijnere baggerspecie op de kopse kanten van het beunschip is zo selectief mogelijk in suspensie gebracht en ontwaterd met de decanteercentrifuge.
Het zand dat zich als een rug in het midden van het schip had gevormd, is met de knijper van een kraanschip in eigen ruim overgebracht. Vervolgens is het met de kraan overgeslagen in containers en zonder verdere behandeling met vrachtwagens afgevoerd (zie bijlage 7, fotoreportage).

3.4 Tussenopslag

De tijdelijke opslag op het terrein van de stortplaats Nauerna was niet in het oorspronkelijke werkplan opgenomen. Deze tussentijdse opslag is noodzakelijk gebleken doordat de ontwaterde baggerspecie van de locatie van ontwatering niet direct naar de verwerkingslocatie voor thermische reiniging kon worden afgevoerd.
Het transport naar Nauerna is uitgevoerd tussen 3 en 10 oktober 1996.
De slibrijke partij van de baggerspecie is apart en gescheiden opgeslagen van de zandrijke partij.

De ingewogen hoeveelheden zijn:

slibrijke baggerspecie	191,24	ton
zandrijke baggerspecie	494,10	ton
totaal baggerspecie	685,34	ton

De baggerspecie is afgevoerd van Nauerna naar Ecotechniek op 30 en 31 oktober 1996. De totale hoeveelheid, zoals bepaald bij aanvoer op het terrein van de reinigingsinstallatie, is 680,28 ton. De beide gewogen hoeveelheden wijken 1% af.
Ook op het terrein van Ecotechniek zijn de beide partijen slibrijke en zandrijke baggerspecie gescheiden opgeslagen.

3.5 Thermische reiniging

Te verwerken partijen ontwaterde baggerspecie
De ontwaterde baggerspecie is in twee partijen (ca. 190 ton slibrijke en ca. 490 ton zandrijke specie) met zeilen afgedekt opgeslagen.
Bij visuele inspectie zijn in de zandrijke specie, die geen voorbehandeling heeft ondergaan, grove delen aangetroffen zoals een vat, een boomstronk, pollen gras e.d..
De slibrijke specie was minder rul dan direct na de mechanische ontwatering met de decanteercentrifuge.

In totaal is **680,28 ton** ontwaterde baggerspecie met een gemiddeld droge stofpercentage van 78,6 gew%, oftewel ca. 535 ton droge stof, afkomstig uit de Petroleumhaven van Amsterdam in 38,5 uur thermisch gereinigd.

Procesparameters
De temperatuur in de gloeitrommel is tijdens de proefneming ingesteld op minimaal 550°C. De ervaring met thermische reiniging leert dat het verwijderingsrendement voor de aanwezige verontreinigingen, PAK's en minerale olie hierbij meer dan 99,9% bedraagt. De temperatuur van de thermische naverbrander is ingesteld op minimaal 875°C, waarbij de uitgedampte verontreinigingen volledig worden vernietigd.

Afvoer van de gereinigde baggerspecie en reststoffen
De gereinigde baggerspecie is van het terrein van Ecotechniek Bodem te Rotterdam afgevoerd nadat het uitloogonderzoek is uitgevoerd. Afhankelijk van de uitloogresultaten zou de gereinigde baggerspecie vrij dan wel onder restrictie hergebruikt kunnen worden. Uiteindelijk is de gereinigde specie als Categorie I grond afgevoerd t.b.v. het uitbreidingsplan "Gouwestroom" te Gouda waar het is toegepast als ophoogmateriaal.
Bij de proefreiniging zijn geen andere reststoffen vrij gekomen dan bij de reguliere bedrijfsvoering, afgezien van de vooraf afgezeefde houtresten uit de zandrijke baggerspecie.

Praktische uitvoering van de proefreiniging
Verwerking slibrijke baggerspecie
De proef is gestart met de reiniging van de **slibrijke** baggerspecie zonder gebruik te maken van opmengmateriaal.
In tegenstelling tot de verwachtingen van KEMA en ESDEX [3] hebben zich bij het invoeren van de verontreinigde baggerspecie in de installatie geen verstoppingen voorgedaan.
In grafiek 1 in bijlage 3 is het verloop van de temperatuur van de grond aan het einde van de trommel (= slibrijke gereinigde specie) tijdens de verwerking weergegeven. Na ca. 12 uur vanaf aanvang van de proef is de grondtemperatuur gedurende een periode van ca. 2 uur te laag geweest. De temperatuur van de afgassen die uit de naverbrander komen, is tijdens de verwerking ruim boven de minimale eis van 875°C gebleven.
Aanleiding voor de temperatuurdaling was het afnemen van het transport van ontwaterde baggerspecie door de gloeitrommel ten gevolge van de fysische eigenschappen van de ontwaterde baggerspecie. De brander moest daarom teruggenomen worden, daar anders de temperatuur aan het uiteinde van de trommel te hoog zou oplopen met schade als gevolg. In deze proefreiniging bestond het opmengmateriaal uit licht verontreinigd zand van locatie Bennekom en een hoeveelheid gereinigde slibrijke specie die vrij is gekomen bij een te lage temperatuur in de gloeitrommel
De capaciteit lag gemiddeld op ca. 17,6 t/h met een minimum van 12,5 t/h en een maximum van 21 t/h. Het behandelde materiaal dat een te lage temperatuur heeft gehad, voldeed waarschijnlijk niet aan de reinigingseis en is daarom conform de daarvoor geldende BIM-procedure teruggevoerd in de installatie. Ecotechniek heeft niet vastgesteld wanneer, hoe lang en in welke verhouding is gemengd. Vermoedelijk is direct nadat de temperatuur in de trommel te ver was gedaald een shovel Bennekom zand toegevoegd, terwijl de circa 31 ton specie welke niet de gewenste procescondities heeft ondergaan, gelijkmatig is verdeeld over de resterende tijd dat de slibrijke baggerspecie is verwerkt.

Tabel 1: Procescondities tijdens de thermische reiniging van slibrijke baggerspecie*

Parameter	Waarde	Eenheid
Temperatuur baggerspecie einde trommel	588	°C
Temperatuur afgassen einde naverbrander	957	°C
Invoer baggerspecie + opmengmateriaal (bandweger)	17,6	t/h
Baggerspecie verwerkt	190	ton
Opmengmateriaal verwerkt	36	ton
Verwerkingstijd	12,8	uur
Afgassendebiet (nat)	51000	m^3/h
Aardgasverbruik per ton (natte) specie-invoer	59	m^3/t

* Het betreft geïntegreerde (tijdstap 10 minuten) gemiddelden voor alle parameters met uitzondering van de verwerkte hoeveelheden en de verwerkingstijd.

Verwerking zandrijke baggerspecie

De **zandrijke** baggerspecie is zonder opmengmateriaal en zonder terugvoer van gereinigde baggerspecie, thermisch verwerkt. De capaciteit lag gemiddeld op ca. 19,1 t/h met een minimum van 14,9 t/h en een maximum van 24 t/h.

De belangrijkste procescondities tijdens de reiniging van de zandrijke baggerspecie zijn weergegeven in bijlage 3, grafiek 2.

Tabel 2: Procescondities tijdens de thermische reiniging van zandrijke specie*

Parameter	Waarde	Eenheid
Temperatuur baggerspecie einde trommel	601	°C
Temperatuur afgassen einde naverbrander	932	°C
Invoer baggerspecie (bandweger)	19,0	t/h
Baggerspecie verwerkt	490	ton
Verwerkingstijd	25,7	uur
Afgassendebiet (nat)	49500	m^3/h
Aardgasverbruik per ton (natte) specie-invoer	56	m^3/t

* Het betreft geïntegreerde (tijdstap 10 minuten) gemiddelden voor alle parameters met uitzondering van de verwerkte hoeveelheden en de verwerkingstijd.

4. RESULTATEN

4.1 Mechanische ontwatering

De resultaten van het ontwateren van de slibrijke partij baggerspecie met de decanteercentrifuge zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 Resultaten ontwateren slibrijke baggerspecie met decanteercentrifuge

Datum	Verwerkte specie (m^3)	Doorzet (m^3/hr)	Droge stof input (% m/m)	Droge stof output (% m/m)	Berekende massa slib-koek (ton)
20-09	78	8 *)	12,2	53,8	17,7
23-09	284	28	10,5	54,0	55,2
24-09	208	21	10,5	56,0	39,0
25-09	147	8	10,5	57,4	26,9
30-09	142	14	10,4	63,7	23,2
01-10	291	29	11,2	53,8	60,4
03-10	49	16	11,2	53,8	10,2
Totaal	1199				233

*) proefdraaien

De doorzet van de baggerspecie varieerde van 8 tot bijna 30 m^3/uur bij droge stof invoerconcentraties van 10 tot 12% m/m. Deze variatie wordt veroorzaakt door verschillen in samenstelling van de baggerspecie, waarbij met name de hoge zandfractie een storende rol heeft gespeeld. Het uitvoer droge stof gehalte varieerde van 54 tot 64% m/m.

De analyseresultaten van de ontwaterde baggerspecie en het bij de ontwatering afgevoerde water zijn opgenomen in bijlage 2. De analyseresultaten van het ontwaterde materiaal komen aan de orde in de volgende paragraaf, thermische reiniging.
Het afgevoerde water is bemonsterd na passage van een lamellenafscheider. Het bevatte lage gehalten zwevend stof (visueel helder), olie en PAK. Het gros van de olie en PAK is in de ontwaterde baggerspecie blijven zitten, zie tabel 4. Slechts ca. 2,3‰ van de aanwezige olie en PAK is tijdens de mechanische ontwatering met het water afgevoerd.

Tabel 4: Verdeling van olie en PAK na mechanisch ontwateren

component	kg met water afgevoerd	kg in ontwaterde slibrijke specie	fractie in water ‰
PAK	0,13	56	2,3
minerale olie	2,3	958	2,4

Het energieverbruik van de centrifuge bedroeg ca 24 kWh/ton droge stof (86 MJ/ton ds) ontwaterde baggerspecie bij normale produktie. Bij een zeefbandpers is dit verbruik inclusief indikking circa 10 kWh/ton droge stof (36 MJ/ton ds.)

Het verbruik aan kationisch flocculant bedroeg 10 kg/ton droge stof ontwaterde baggerspecie. Dit is drie maal zo hoog dan op grond van het vooronderzoek werd geadviseerd. De oorzaken zijn het per definitie hogere verbruik van flocculant bij ontwateren met centrifuges in plaats van drukfiltratie (zeefbandpers) en het niet kunnen optimaliseren van de dosering tijdens deze proef.

4.2 Thermische reiniging

De meest relevante analyseresultaten van de thermische reiniging van de slibrijke en de zandrijke specie en de toetsing aan de streef- en interventiewaarden bodemsanering uit de Wet Bodembescherming zijn in deze paragraaf weergegeven. De volledige toetsingsresultaten zijn bijgevoegd als bijlage 4.
Verder worden achtereenvolgens het uitloogonderzoek, de afzet van het gereinigde materiaal en de emissies naar lucht besproken. Tenslotte wordt het energieverbruik behandeld.

Resultaten thermische reiniging van slibrijke baggerspecie
In tabel 5 zijn de analyseresultaten van de slibrijke baggerspecie voor en na thermische reiniging weergegeven. Tevens is voor organische stoffen en kwik het verwijderingsrendement berekend.

Tabel 5: Resultaten thermische reiniging van slibrijke baggerspecie

ANALYSE-PARAMETER	EENHEID	ONTWATERDE SLIBRIJKE SPECIE		GEREINIGDE SLIBRIJKE SPECIE		REINIGINGS-RENDEMENT
	Ecotechniek/ Directievoering	Eco.	Dir.	Eco.	Dir.	%
Droge stof	gew.%	69,9	56,2	89,2	86,6	-
Lutum	% vd ds	14,5	22,5	4,3	n.g.	-
Org. stof (550°C)	% vd ds	4,2	6,4	< 0,6	< 0,5	> 88 *)
Minerale olie GC C10- C40	mg/kg ds	5250	8900	< 20	< 20	> 99,6
PAK (10 van VROM)	mg/kg ds	212	504	< 0,1	< 0,1	> 99,9
Kwik	mg/kg ds	1,0	1,5	0,2	0,3	> 80

n.g. niet geanalyseerd
* verwijderingsrendement

Uit tabel 5 blijkt, dat de organische stoffen vrijwel volledig zijn verwijderd. Kwik is voor meer dan 80% verwijderd. Verder blijkt het lutumgehalte fors afgenomen te zijn. De reden hiervoor is dat de structuur van kleimineralen bij thermische behandeling (deels) verloren gaat, o.a. door partiële versmelting (zie ook de resultaten van het uitloogonderzoek).
Opvallend is, dat de analyseresultaten van de ontwaterde baggerspecie nogal wat variatie vertonen tussen Ecotechniek en de Directievoering. De monsters zijn door hetzelfde laboratorium geanalyseerd. Deze verschillen kunnen samenhangen met de volgende factoren:

- de directievoering heeft direct na ontwateren bemonsterd, terwijl Ecotechniek dit ruim een maand later heeft gedaan bij de thermische verwerking;
- uit andere projecten is bekend dat met name analyseresultaten van organische stoffen een grote spreiding kunnen vertonen ten gevolgen van inhomogeniteiten;
- Ecotechniek heeft een deel van de slibrijke baggerspecie (mengverhouding ca. 0,25 op droge stof basis) opnieuw door de installatie gevoerd, daar de temperatuur in het begin van de proef enige tijd onder het gestelde minimum was gezakt. Het feit dat de hier niet getoonde zware metaalgehalten (excl. kwik) wel overeenkomen, past in deze verklaring.

Toetsing gereinigde slibrijke baggerspecie
De samenstelling van de gereinigde slibrijke baggerspecie is getoetst aan de streef- en interventiewaarden voor bodemsanering uit de Wet Bodembescherming. Indien de samenstelling aan de streefwaarde voldoet, is het zonder beperkingen toepasbaar volgens het IPO-interim beleid en het Bouwstoffenbesluit; bij een samenstelling tussen de streefwaarde en de interventiewaarde gelden aanvullende bepalingen voor toepassing en dient bovendien de uitloging van anorganische stoffen aan bepaalde normen te voldoen.
Bij de toetsing aan de streefwaarde mag volgens het bouwstoffenbesluit i.v.m. analyse- en bemonsteringsonnauwkeurigheid een marge van 14% naar boven worden gehanteerd.

De volledige toetsing van de samenstelling bevindt zich in bijlage 6. In tabel 6 zijn alleen de stoffen opgenomen met een gehalte boven 1,14 maal de streefwaarde.

Tabel 6: Toetsing gereinigde slibrijke baggerspecie (L=4,3 en H=2)

Analyseparameter	**Samenstelling 1) (mg/kg ds)**	**Streefwaarde (mg/kg ds)**	**Interventiewaarde (mg/kg ds)**
cadmium	0,7	0,5	7,2
koper	34	19	99
lood	103	56	350
zink	163	66	340

1) Gemiddelde analyseresultaat analyses Ecotechniek en directievoering

Uit tabel 6 blijkt, dat vier zware metalen de streefwaarde voor schone grond overschrijden. Hierdoor wordt de gereinigde slibrijke baggerspecie als categorie I grond geclassificeerd.

Resultaten thermische reiniging van zandrijke baggerspecie
In tabel 7 zijn de analyseresultaten van de zandrijke baggerspecie voor en na thermische reiniging weergegeven. Tevens is voor organische stoffen en kwik het verwijderingsrendement berekend.

Tabel 7: Resultaten thermische reiniging van zandrijke baggerspecie

ANALYSEPARA-METER	EENHEID	VERVUILDE ZAND-RIJKE SPECIE		GEREINIGDE ZAND-RIJKE SPECIE		REINIGINGS-RENDEMENT
	Ecotechniek/ Directievoe-ring	Eco.	Dir.	Eco.	Dir.	%
Droge stof	gew.%	82	81,2	92,2	89,4	-
Lutum	% vd ds	4,5	5	2,6	n.g.	-
Org. stof (550°C)	% vd ds	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	-
Minerale olie GC C10- C40	mg/kg ds	1125	925	< 20	< 20	> 97,8
PAK (10 van VROM)	mg/kg ds	65	81	< 0,1	< 0,1	> 99,8
Kwik	mg/kg ds	0.3	0.3	0.25	0.2	> 33

n.g. niet geanalyseerd

De reiniging van de zandrijke baggerspecie geeft eigenlijk hetzelfde beeld te zien als bij de slibrijke specie (tabel 5), zij het dat de mate van verontreiniging hier lager was en dat de analyses van Ecotechniek en de directievoering beter overeenstemmen.

Toetsing gereinigde zandrijke baggerspecie
De gereinigde zandrijke baggerspecie is qua samenstelling praktisch schone grond: alleen kwik overschrijdt minimaal de streefwaarde (samenstelling 0,25 mg/kg ds, streefwaarde * 1,14 = 0,23 mg/kg ds).

Resultaten uitloging van zware metalen
Uitloogonderzoek voor de afzet
Na reiniging is de baggerspecie het eigendom van Ecotechniek geworden. Voor afzet als categorie I grond heeft Ecotechniek standaard-uitloogonderzoek volgens de eisen van het interimbeleid in de provincie Zuid-Holland laten uitvoeren. De resultaten van dit onderzoek tonen voor de 8 routinematig gemeten zware metalen aan, dat de gereinigde baggerspecie toegepast kan worden als categorie I grond in civieltechnische werken.

Aanvullend uitloogonderzoek
Om meer inzicht te krijgen in eigenschappen die van belang zijn voor het uitlooggedrag, is aanvullend onderzoek uitgevoerd, waarvan hier de belangrijkste resultaten volgen. De volledige rapportage bevindt zich in bijlage 4.

De uitloging van de meeste anorganische stoffen blijft gelijk of neemt af na thermische behandeling bij 600°C.
In de praktijkproef blijkt de uitloging van fluoride en de oxyanionvormende elementen arseen en molybdeen echter toe te nemen.

Voor de afzet als categorie I grond vormt dit geen probleem, daar de uitloging van arseen voldoet aan de betreffende uitloogeis (IPO-interimbeleid inzake Bouwstoffenbesluit) en de gehalten van fluoride en molybdeen voldoen aan de streefwaarde voor schone grond. In dit laatste geval is het uitlooggedrag niet van belang voor de afzet.

Alleen sulfaat (en waarschijnlijk chloride, overigens niet gemeten) blijken van belang te zijn voor de afzet. Deze stoffen zijn in hoge gehalten aanwezig vanwege het brakke water van het Noordzeekanaalgebied en spoelen gemakkelijk uit, daar ze niet door bodemmateriaal worden vastgehouden. In de praktijk zal dit de toepassing kunnen beperken tot gebieden die reeds een brak of zout karakter hebben of door een wasstap in de behandeling in te bouwen.

De laboratoriumproef blijkt niet representatief te zijn geweest, daar in tegenstelling tot de praktijkproef ook de uitloging van sulfaat, chroom en seleen toeneemt. De oorzaak is, dat de omstandigheden in de praktijk reducerend zijn, terwijl die in het laboratorium oxiderend zijn geweest.

Uit de overige analyses blijkt, dat de adsorptiecapaciteit voor positief geladen deeltjes (zoals de meeste metaalionen) afneemt, hetgeen verklaard kan worden uit de ontleding van organische stof en de structuurverandering van kleimineralen.
Uit het verdwijnen van specifieke kleimineralen kan worden afgeleid dat de temperatuur van de baggerspecie tijdens verwerking inderdaad is opgelopen tot rond de 600°C. In het praktijkmonster zijn sporen magnetiet aangetroffen, terwijl in het laboratorium hematiet wordt gevormd. Dit bevestigt de eerdere conclusie dat de omstandigheden in het laboratorium oxiderend zijn geweest, terwijl die in de praktijk reducerend waren.

Afvoer gereinigde specie
De gereinigde specie is als categorie I grond afgevoerd naar het industrieterrein "Gouwestroom" te Gouda, waar het is toegepast als ophoogmateriaal.
Hierbij is ca. 574 ton gereinigd materiaal met een vochtgehalte van ca. 10% m/m afgezet. 143 ton was afkomstig van de slibrijke baggerspecie, 431 ton van de zandrijke baggerspecie.

Emissies naar lucht
In de onderstaande tabel zijn de gemiddelde meetwaarden weergegeven betreffende de emissie naar de lucht tijdens respectievelijk de verwerking van slibrijke en zandrijke baggerspecie. De gegevens zijn afkomstig van het continue monitoringssysteem van Ecotechniek met uitzondering van het zuurstofgehalte, dat specifiek gemeten is.
De vergunningsvoorschriften voor emissies naar lucht zijn opgenomen in bijlage 5.

Tabel 8 Emissies naar lucht (gemiddelde waarden)

Parameter	Emissie naar lucht tijdens de verwerking van de zandrijke baggerspecie	Emissie naar lucht tijdens de verwerking van de slib-rijke baggerspecie	Vergunningseis
Debiet droog (Nm^3/h)	26500	27400	-
Vochtgehalte afgassen (g/Nm^3 droog bij 75°C)	390	390	-
Zuurstofgehalte (vol% droog)	9,3	niet gemeten	-
SO_2 (mg/Nm^3)	15	21	40
NO_x (mg/Nm^3) berekend als NO_2	245	171	200 (streef)
CO (mg/Nm^3)	13,1	6,8	50
C_xH_y (mg/Nm^3) berekend als CH_4	0,2	1,2	5

Waarden van SO_2, NO_x, CO en C_xH_y zijn omgerekend naar 11 vol% O_2.

Naast de continue metingen uitgevoerd door Ecotechniek, zijn tijdens de verwerking van zandrijke baggerspecie specifieke metingen verricht naar PAK en MAK (tabel 9).

Tabel 9: Emissies naar lucht, Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen.

Component	**Stofgebonden concentratie * (mg/Nm^3, 11 vol% O_2)**
benzo(a)anthraceen	0,09
benzo(a)fluorantheen	0,03
benzo(a)pyreen	< 0,02
dibenzo(a,h)anthraceen	< 0,02
totaal ** (vergunningseis: 2 Fg/Nm^3)	0,12

* outstack verwarmde filterhouder

** exclusief niet gedetecteerde verbindingen

Tabel 10: Emissie naar lucht, enkelvoudige koolwaterstoffen

component	**Concentratie (mg/Nm^3, 11 vol% O_2)**
benzeen	0,03
tolueen	< 0,01
ethylbenzeen	< 0,01
o-xyleen	< 0,01
totaal (vergunningseis: 5 mg/Nm^3)	0,03

Nm^3 in normaal toestand (1 atmosfeer, 0°C) droog bij 11 vol% O_2.

Uit de tabellen 8 tot en met 10 kan worden geconcludeerd dat de proef binnen de geldende vergunningsvoorschriften is uitgevoerd.

Energieverbruik

Het energieverbruik van de thermische verwerking bestaat voor het overgrote deel uit warmte die in geval van de Ecotechniek installatie geleverd wordt door verbranding van aardgas. Het aardgasverbruik is geregistreerd. De gegevens staan vermeld in de volgende tabel

Tabel 11 Energieverbruik van de thermische verwerking

Partij baggerspecie	Aardgasverbruik Nm;/ton invoer	Nm;/ton d.s.	MJ/ton d.s.
zandrijke baggerspecie	56	68	2160
slibrijke baggerspecie	59	85	2673

In andere studies [4,5] is het elektrisch energie verbruik van de hele installatie van de thermische reiniging berekend op 35 tot 45 MJ per ton d.s.

De grondreinigingsinstallaties hebben in de praktijk bij reiniging van grond met 20% vocht en 5% humus gehalte een energieverbruik van 1600 - 2600 MJ/ton ds. Deze marges in energieverbruik hangen samen met de wijze waarop de installatie is gerealiseerd en welke voorzieningen zijn opgenomen om warmte efficiënt te kunnen benutten. In [4,5] is voor ontwaterde baggerspecie met 67% ds en 5% humusgehalte een energieverbruik berekend van 2300 MJ/ton ds. Uitgangspunt was in deze studie een installatie waarin de baggerspecie door middel van een aparte droger met condensatie van de vrijkomende stoom werd behandeld, voordat de gedroogde baggerspecie naar de desorber werd gevoerd.

In deze praktijkproef is gebleken dat het gemeten energieverbruik overeenkomt met het energieverbruik volgens bovenstaande referenties.

4.3 Massabalans droge stof en zware metalen

Massabalans droge stof
In bijlage 6 is een schema van de praktijkproef opgenomen met daarin een overzicht van gemeten tonnen baggerspecie en samenstelling.

Op grond van vooronderzoek voor de pilotsanering biologische reiniging werd verwacht dat 550 m^3 baggerspecie overeen zou komen met 300 ton droge stof, hetgeen bij opzet van de praktijkproef als minimaal noodzakelijke hoeveelheid voor een zinvolle beproeving van een thermische grondreiniginginstallatie is vastgesteld. De baggerspecie zou een behoorlijk hoog organische stofgehalte bevatten (kolom 1 in het schema). In werkelijkheid was de baggerspecie veel zandiger en kwam 550 m^3 overeen met ruim 500 ton droge stof (kolom 2). Na onbedoelde natuurlijke scheiding door de wijze van inbrengen in het beunschip in een slibrijke en zandrijke baggerspecie en ontwateren van de slibrijke baggerspecie met de centrifuge, bleek 80% van de droge stof in de zandrijke partij te zitten en 20% in de ontwaterde slibrijke baggerspecie (kolommen 3.1 en 3.2). De samenstelling van de ontwaterde baggerspecie bleek meer overeenkomsten te vertonen met de gegevens van het vooronderzoek (vergelijk kolom 3.2 met kolom 1). De tijdens de tijdelijke opslag bij Nauerna gemeten tonnages (3.1 en 3.2) zijn binnen de meetnauwkeurigheid identiek aan die gemeten bij aankomst bij Ecotechniek (kolommen 4.1 en 4.2). Wel merkwaardig is, dat het droge stofgehalte en de samenstelling van de slibrijke ontwaterde baggerspecie zijn veranderd (vergelijk kolom 3.2 met 4.2). Dit verschil is reeds besproken in par. 4.2.. Overigens viel de bemonstering door Ecotechniek voor bepaling van de samenstelling niet samen met de weging bij aankomst op het terrein van Ecotechniek, zodat niet gezegd kan worden dat de berekende tonnen droge stof in kolom 4.2 ook daadwerkelijk van Nauerna zijn aangevoerd.
Na reiniging (kolommen 5.1 en 5.2) is het vochtgehalte en het gehalte organische stof afgenomen, zodat er van de 680 ton bij Ecotechniek aangevoerde ontwaterde baggerspecie 574 ton met een gemiddeld droge stofgehalte van 90% resteert.

Zware metalenbalans voor en na thermische reiniging
In tabel 12 is de zware metalenbalans weergegeven voor de slibrijke ontwaterde baggerspecie.

Tabel 12: Zware metalenbalans ontwaterde slibrijke baggerspecie

Zwaar metaal	Gem. samen-stelling ongereinigd (mg/kg ds)	Gem. samen-stelling ge-reinigd (mg/kg ds)	Vracht ongereinigd (gram) (107,5 tds)	Vracht gereinigd (gram) (126 tds)	Massabalans als % reductie
arseen	16	10,6	1.720	1.337	22
cadmium	1,025	0,65	110	82	25
chroom	27,25	23,25	2.929	2.932	-0
koper	44,5	33,5	4.784	4.224	12
kwik	1,5	0,25	161	32	80
lood	94	102,5	10.105	12.925	-28
nikkel	16,75	14,25	1.801	1.797	0
zink	225	162,5	24.188	20.491	15

Uit tabel 12 blijkt, dat de kwikvracht voor 80% verwijderd is. Voor metallisch kwik wordt dit verklaard uit de dampspanning van kwik bij 550°C; de kwikverbindingen vallen in brokstukken uit elkaar en door recombinatie worden vluchtige kwikverbindingen en metallisch kwik gevormd. Voor de overige metalen gaat het om onnauwkeurigheden in bemonstering en analyse van droge stof en zware metalen: deze varieert van 0% voor chroom en nikkel tot rond de 25% voor arseen, cadmium en lood. Deze foutenmarge is acceptabel te noemen.
Een sluitfout in de massabalans kan toevallig zijn veroorzaakt door fouten die dezelfde kant opwerken, maar kan ook worden veroorzaakt doordat het metaal inhomogeen verdeeld aanwezig is, bijvoorbeeld in deeltjes.

In tabel 13 is de zware metalenbalans weergegeven voor de zandrijke baggerspecie.

Tabel 13: Zware metalenbalans zandrijke baggerspecie

Zwaar metaal	Gem. samen-stelling ongereinigd (mg/kg ds)	Gem. samen-stelling ge-reinigd (mg/kg ds)	Vracht ongereinigd (gram)	Vracht gereinigd (gram)	Massabalans als % reductie
arseen	4,92	5,38	1.978	2.124	-7
cadmium	0,5	0,5	201	197	2
chroom	8,7	10,4	3.497	4.106	-17
koper	11,08	12,4	4.454	4.896	-10
kwik	0,3	0,24	121	95	21
lood	19,25	29,5	7.739	11.647	-50
nikkel	6,28	7,32	2.525	2.890	-14
zink	50,4	66,6	20.261	26.294	-30

Met uitzondering van kwik (20% afname) en cadmium (geen verandering) neemt de metaalvracht 7 tot 30% toe na reiniging: voor lood is dit zelfs ruim 50%. Kennelijk is lood inhomogeen verdeeld aanwezig, hetgeen bevestigd wordt door twee niet in de berekening van de gemiddelde samenstelling meegenomen analyses van respectievelijk 150 en 95 mg/kg ds.

5. CONCLUSIES

5.1 Ontwatering

De proef heeft aangetoond, dat ontwatering met behulp van een centrifuge mogelijk is, en dat droge stof gehalten van gemiddeld 56 gew.% haalbaar zijn voor de fijnkorrelige baggerspecie.
Het is gebleken, dat ontwatering van baggerspecie met te veel zand, meer dan circa 50 gew.%, tot vastlopen van de centrifuge leidt.
De vracht aan verontreinigingen die met het geloosde water uit de centrifuge wordt afgevoerd is gering, bij deze proef circa 2,31 van de vracht aan verontreinigingen in de baggerspecie.
Het polyelectrolietverbruik was hoog, ca 10 kg per ton droge stof. Deze dosering is zo hoog doordat de ontwatering te kort heeft geduurd en te veel was onderbroken om het polyelectroliet optimaal te doseren.
Het energieverbruik van de ontwatering met de decanteercentrifuge bedroeg circa 24 kWh per ton d.s. Bij een ontwatering met een zeefbandpers is dit energieverbruik inclusief indikking en ontwatering circa 10 kWh/ton d.s.

5.2 Thermische reiniging

De proefreiniging heeft op basis van de praktische uitvoerbaarheid en de reinigingsresultaten aangetoond dat de thermische grondreinigingstechniek inzetbaar is bij waterbodemsanering.

- voor het optimaal laten verlopen van het reinigingsproces in de installatie van Ecotechniek, is gebleken dat het noodzakelijk was om de **slibrijke** baggerspecie met een beperkte hoeveelheid opmengmateriaal te verwerken (opmengfactor 0,25 ton ds mengmateriaal/ton ds ontwaterde baggerspecie). Oorzaak was het afnemen van het transport van ontwaterde baggerspecie door de gloeitrommel ten gevolge van de fysische eigenschappen van de ontwaterde baggerspecie. De brander moest daarom teruggenomen worden, daar anders de temperatuur aan het uiteinde van de trommel te hoog zou oplopen met schade als gevolg. In deze proefreiniging bestond het opmengmateriaal uit licht verontreinigd zand van locatie Bennekom en een hoeveelheid gereinigde slibrijke specie die vrij is gekomen bij een te lage temperatuur in de gloeitrommel;
- naar verwachting is het mogelijk om ook de slibrijke baggerspecie zonder opmenging te verwerken. Het materiaal dient dan direct na de decanteercentrifuge in de gloeiinstallatie te worden gevoerd. Het materiaal is dan nog rul. De drijvende kracht om het water te verdampen is bij rul materiaal immers groter dan bij niet rul materiaal;
- **zandrijke** baggerspecie is zonder opmengmateriaal te verwerken.

<u>Reinigingsresultaten:</u>
- de concentraties **minerale olie**, **EOX** en **PAK's** in de gereinigde baggerspecie liggen beneden de detectielimieten en voldoen aan de streefwaarde. Het reinigingsrendement voor zowel minerale olie als PAK's bedraagt meer dan 99,9%. EOX is nagenoeg niet aanwezig. Op basis van reinigingsresultaten met EOX-vervuilde grond is echter bekend dat ook hiervoor geldt dat het reinigingsrendement hoger is dan 99,9%.
- kwik is uit de baggerspecie verwijderd tot rond de streefwaarde (0,25 mg/kg ds).

<u>Emissie naar de lucht:</u>
- De emissie naar de lucht voldoet, op basis van de verrichte continue metingen, ruim aan de gestelde normen.

Energieverbruik (gasverbruik):

- Het gemiddelde aardgasverbruik op basis van de uitgevoerde reiniging bedraagt circa 56-59 m^3/ton (natte) invoer, 68-85 m;/ton d.s. en 2200-2700 MJ/ton d.s. Dit verbruik ligt rond de bovengrens van het verbruik, dat in de praktijk van de grondreiniging bekend is voor grond met 80% ds en 5% humus.

Verwerkingskosten:

- De door Ecotechniek opgegeven verwerkingskosten zijn *f* 100,- tot *f* 135,- per ton ingevoerde ontwaterde specie met een droge stofgehalte van 70%. Ecotechniek baseert deze gegevens op haar lange ervaring met grondreiniging en extrapolerend naar een maximale doorzet van de installatie.

5.3 Uitlooggedrag voor en na thermische verwerking

De uitloging van sulfaat, fluoride en van de oxyanionen van chroom, molybdeen en seleen voor de onderzochte specie is toegenomen ten gevolge van thermische behandeling in het laboratorium. Daarentegen is sprake van een afname of geen verandering van de uitloging van de onderzochte kationogene metalen. De toename van de sulfaat-uitloging kan worden toegeschreven aan oxidatie van pyriet, terwijl de toename van de uitloging van de oxyanionen naar verwachting samenhangt met een toename van de alkaliniteit van het materiaal. Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat de thermische behandeling in het laboratorium, de specie volledig heeft geoxideerd en dat de aanwezige kleimineralen voor een deel zijn ontbonden (tot amorfe gedehydrateerde aluminiumsilikaten).

In de praktijkproef daarentegen hebben reducerende omzettingen plaatsgevonden, hetgeen onder meer tot uitdrukking komt in de lagere sulfaatuitloging van het behandelde monster. Ook hier neemt de uitloging van de onderzochte kationische metalen af, terwijl die van arseen, molybdeen en fluoride toeneemt. De omzetting van een deel van de kleimineralen in amorf materiaal heeft ook hier plaatsgevonden. Op basis van de kleimineralogische karakterisatie is geconcludeerd dat de temperatuur bij beide experimenten vergelijkbaar is geweest, namelijk rond de 600°C.

Resumerend kan worden gesteld dat (i) de laboratoriumproef geen reële simulatie is van de praktijk van thermische grondreiniging en (ii) het thermisch behandelen van de onderzochte baggerspecie in een conventionele thermische grondreinigingsinstallatie leidt tot een produkt met een verhoogde uitloging van arseen, fluoride en molybdeen. Wanneer deze elementen aanwezig zijn in concentraties boven de streefwaarde voor schone grond, kan dit aanleiding geven tot classificatie als categorie II grond of zelfs tot afkeuring voor nuttige toepassing.

6. BETEKENIS VAN DE PROEFREINIGING VOOR WATERBODEMSANERING

6.1 Soorten baggerspecie / soorten verontreinigingen

De verwerkingsketen baggeren, ontwateren en thermisch reinigen is technisch goed uitvoerbaar gebleken voor baggerspecie uit de Petroleumhaven in Amsterdam.
Alle organische verontreinigingen zijn effectief uit de baggerspecie verwijderd tot waarden onder de streefwaarden voor schone grond. Ook de verontreiniging met kwik is verwijderd tot de streefwaarde.

In de praktijk zal bij zandrijke baggerspecie een cyclonagestap worden toegevoegd om de ontwatering efficiënter uit te voeren. Het zand kan eenvoudig ontwaterd worden, de fijne residu fractie zal mechanisch worden ontwaterd.
De decanteercentrifuge is een technisch volwaardig alternatief gebleken voor de zeefbandpers. De ontwatering bereikt vergelijkbare droge stof gehalten als een zeefbandpers. De decanteercentrifuge is in staat gebleken om ook baggerspecie met een redelijk grote zandfractie te verwerken (tot circa 50 gew.% van de droge stof).

De thermische reiniging van de slibrijke baggerspecie is technisch goed mogelijk. De doorzet is niet gemaximaliseerd, aangezien de tijd ontbrak door de kleine partijomvang. Een significant hogere doorzet is waarschijnlijk mogelijk.

Bij de grondreiniging worden regelmatig partijen met een groot aandeel aan fijne fractie gereinigd. Mede gebaseerd op deze ervaring kan worden geconcludeerd dat thermische reiniging een beproefde en bewezen techniek is, waarbij de reinigingsresultaten voor organische verontreinigingen verzekerd zijn.

Met uitzondering van kwik worden de zware metalen niet verwijderd. Het uitlooggedrag van anorganische stoffen neemt af of blijft gelijk na thermische verwerking, met uitzondering van arseen, fluoride en molybdeen. In de meeste gevallen zal de samenstelling van de baggerspecie (zware metaalgehalten) bepalend zijn voor de afzetmogelijkheden van het thermisch gereinigde produkt, zie ook [6]. Voor nuttige toepassing zullen de zware metaal gehalten onder de interventiewaarden Bodemsanering moeten liggen.

6.2 Energieverbruik

Het energieverbruik van de totale verwerkingsketen bestaat uit de volgende onderdelen:
- mechanische energie voor baggeren en diverse transporten ;
- mechanische energie voor ontwateren;
- mechanische energie en warmte voor thermische verwerking.

Het totale energieverbruik wordt als volgt geraamd:
- mechanische energie baggeren en transport over water p.m.;
- mechanische energie voor transport per as met 0,85 MJ/km ton, 50 km gemiddelde; afstand met d.s. gehalte van 35% bedraagt 120 MJ/ton d.s.;
- mechanische energie ontwateren bedraagt ca. 40 MJ/ton d.s. inclusief fractiescheiding en voorbehandeling;
- mechanische energie thermische verwerking bedraagt ca. 35-45 MJ/ton d.s.;
- benodigde warmte thermische verwerking bedraagt voor de Ecotechniek installatie ca. 2200-2700 MJ/ton d.s.

De totale energievraag wordt voor het overgrote deel bepaald door de warmtevraag voor de thermische verwerking. Een thermische verwerkingsinstallatie voor baggerspecie zal voor energiebesparing worden

uitgevoerd met een droger voor de gloeitrommel. De waterdamp kan worden gecondenseerd en het condenswater gezuiverd.
Extra besparing kan worden verkregen door warmteterugwinning. Dit wordt voor een deel toegepast in de Ecotechniek installatie.

De mechanische ontwatering van de fijne fractie baggerspecie kan een droge stof gehalte bereiken van ca. 50%.
In dat geval wordt de energie vraag van de totale verwerkingsketen als volgt geraamd:

Tabel 13: Energieverbruik van de totale verwerkingsketen van de fijne fractie van baggerspecie opgegeven in MJ/ton d.s.

onderdeel	**mechanisch**	**warmte**
baggeren + nat transport	p.m.	-
transport over water		
transport over de weg	120	-
mechanische ontwatering	40	-
thermische verwerking	40	2300
totaal	200	2300

6.3 Verwerkingsketen voor baggerspecie met thermische behandeling

De verwerkingsketen voor baggerspecie met thermische behandeling bestaat uit de volgende stappen:
- baggeren met een zo groot mogelijke precisie, en een zo laag mogelijk watergehalte;
- zeven van grove delen;
- cycloneren bij zandige en zandrijke baggerspecie (50 - 80% m/m ds > 63 μm);
- ontwateren tot een zo hoog mogelijk droge stof gehalte;
- thermische verwerking;
- afzet.

De processtappen zeven, cycloneren en ontwateren zijn nodig om de navolgende processtappen met een redelijke bedrijfszekerheid uit te kunnen voeren. Met name de ontwateringsstap is niet erg efficiënt, immers het maximaal haalbare droge stofgehalte voor een ontwaterde fijne baggerspecie ligt in de range van 45 - 60% m/m droge stof.

Het aandeel van de zeving, cycloneren en ontwateren van de fijne fractie in de totale verwerkingskosten is hoog.
Een aanzienlijke kostenreductie is mogelijk indien de thermische verwerking op de direct gebaggerde specie mogelijk is. Hiervoor is een speciale droger nodig met speciale aandacht voor de invoer. Deze is in de praktijk nog niet uit getest, maar is mogelijk wel te realiseren.

6.4 Kosten

De kosten van de totale keten met thermische verwerking van baggerspecie worden bepaald door de volgende onderdelen:
- baggeren en transport over water of nat transport;
- fractioneren en ontwateren;
- transport per as;
- thermische verwerking inclusief afzet.

De kosten van de onderdelen worden hier kort besproken.

Baggeren en transport over water of nat transport.
Deze kosten vallen buiten het kader van deze studie en zijn als p.m. opgenomen.

Fractioneren en ontwateren.
De kosten van fractioneren en ontwateren zijn afhankelijk van de samenstelling van de baggerspecie. Een grotere zandfractie levert een groot aandeel schoon zand of eenvoudig te reinigen zand op, maar maakt het fractioneren en ontwateren relatief duur bij toerekening aan de fijne fractie. Een ander nadeel is dat het gehalte aan zware metalen in de fijne fractie te hoog kan zijn voor nuttige toepassing, immers de zware metalen bevinden zich voor het grootste deel in de fijne fractie.
In een studie, uitgevoerd in opdracht van RIZA/POSW [4,5], zijn onder andere de kosten geraamd voor fractioneren en ontwateren. Deze keten bestaat uit een voorbewerking, zeving, cyclonage en opstroming en mechanische ontwatering. De studie is opgezet voor een zandrijke specie (80% m/m groter dan 63 µm) en een matig zandige specie 50% m/m groter dan 63 µm) en voor twee capaciteiten 100.000 ton d.s./jaar en 250.000 ton d.s./jaar.
De kosten voor de 100.000 ton d.s./jaar verwerking bedragen *f* 41 - *f* 45 per ton d.s. en voor de 250.000 ton d.s./jaar verwerking *f* 26 - *f* 29 per ton d.s.
De fijne fractie ontwaterde baggerspecie heeft een droge stof gehalte van 40 - 50%.
Dit is niet hoger dan de invoer, echter de afgescheiden zandfractie is met een hoger droge stof gehalte afgevoerd (ca 80%).

Voor een baggerspecie met een laag zandgehalte is de overall effectiviteit van fractioneren en ontwateren laag, maar noodzakelijk voor een betrouwbare voeding van de thermische verwerkingsinstallatie. Indien deze stap kan worden overgeslagen, kan op kosten worden bespaard.

Thermische verwerking
In de zojuist aangehaalde studie zijn de kosten geraamd voor de thermische verwerking. De installatie is geoptimaliseerd voor verwerking van baggerspecie en bestaat uit een droger en aparte hoge temperatuur trommel met aandacht voor energieterugwinning binnen economisch haalbare grenzen.
De verwerkingskosten exclusief fractioneren en ontwateren bedragen ca. *f* 160,- per ton d.s. voor een jaarcapaciteit van 100.000 ton d.s./jaar en ca. *f* 100,- per ton d.s. voor een jaarcapaciteit van 250.000 ton d.s./jaar.
Het is mogelijk de invoer van de droger zo uit te voeren dat onbehandelde "dik gebaggerde" baggerspecie kan worden ingevoerd. Indien hierbij het droge stof gehalte niet lager wordt dan 50 m/m, zullen de kosten voor thermische verwerking niet significant verhogen en kan dezelfde kostenraming worden toegepast.

De totale kosten voor verwerking zijn opgegeven in de volgende tabel.

Tabel 14: Totale kosten thermische verwerking baggerspecie in *f* per ton d.s.

onderdeel	**capaciteit 100.000 ton d.s./jaar**	
	met ontwatering	**zonder ontwatering**
baggeren + nat transport	p.m.	p.m.
fractionering + ontwateren	ca. 45	-
transport per as	p.m.	p.m.
thermische verwerking inclusief afzet	ca.160	ca. 160 *
totaal	ca. 200 + p.m.	ca. 160 + p.m.
onderdeel	**capaciteit 250.000 ton d.s./jaar**	
	met ontwatering	**zonder ontwatering**
baggeren + nat transport	p.m.	p.m.
fractionering + ontwateren	ca. 30	-
transport per as	p.m.	p.m.
thermische verwerking inclusief afzet	ca. 100	ca. 100 *
totaal	ca. 130 + p.m.	ca. 100 + p.m.

*) De invoer van de droger is aangepast om nattere baggerspecie te kunnen verwerken. Dit levert geen hogere exploitatiekosten op.

6.5 Aanbevelingen verder onderzoek

Indien wordt overwogen om baggerspecie thermisch te reinigen, vragen de volgende punten om aanvullend onderzoek:

Doorzet capaciteit thermische verwerking.
De proef met een zandrijke en een slibrijke partij baggerspecie was voor iedere partij van korte duur, respectievelijk 26 en 13 uur. Deze tijd is te kort om een maximale doorzet te kunnen vaststellen. Verwerking van een partij baggerspecie gedurende een aantal dagen wordt aanbevolen.

Thermische verwerking met gescheiden droger en hoge temperatuur trommel.
Een thermische verwerking met gescheiden droger en hoge temperatuur trommel zal de onderbouwing kunnen leveren van de te verwachten voordelen van een dergelijke installatie.

Thermische verwerking in combinatie met rekenmodel van dynamische warmte-overdracht in de trommel.
De partiële immobilisatie blijkt sterk afhankelijk van de temperatuur van de vaste stof deeltjes en de temperatuurverdeling over de vaste stof deeltjes.
Een zeer hoge warmtestroomdichtheid zal leiden tot aanzienlijke temperatuurgradiënten. Inzicht in de warmte-overdracht zal de processen van partiële immobilisatie en effectiviteit van warmte-overdracht kunnen doen verbeteren.

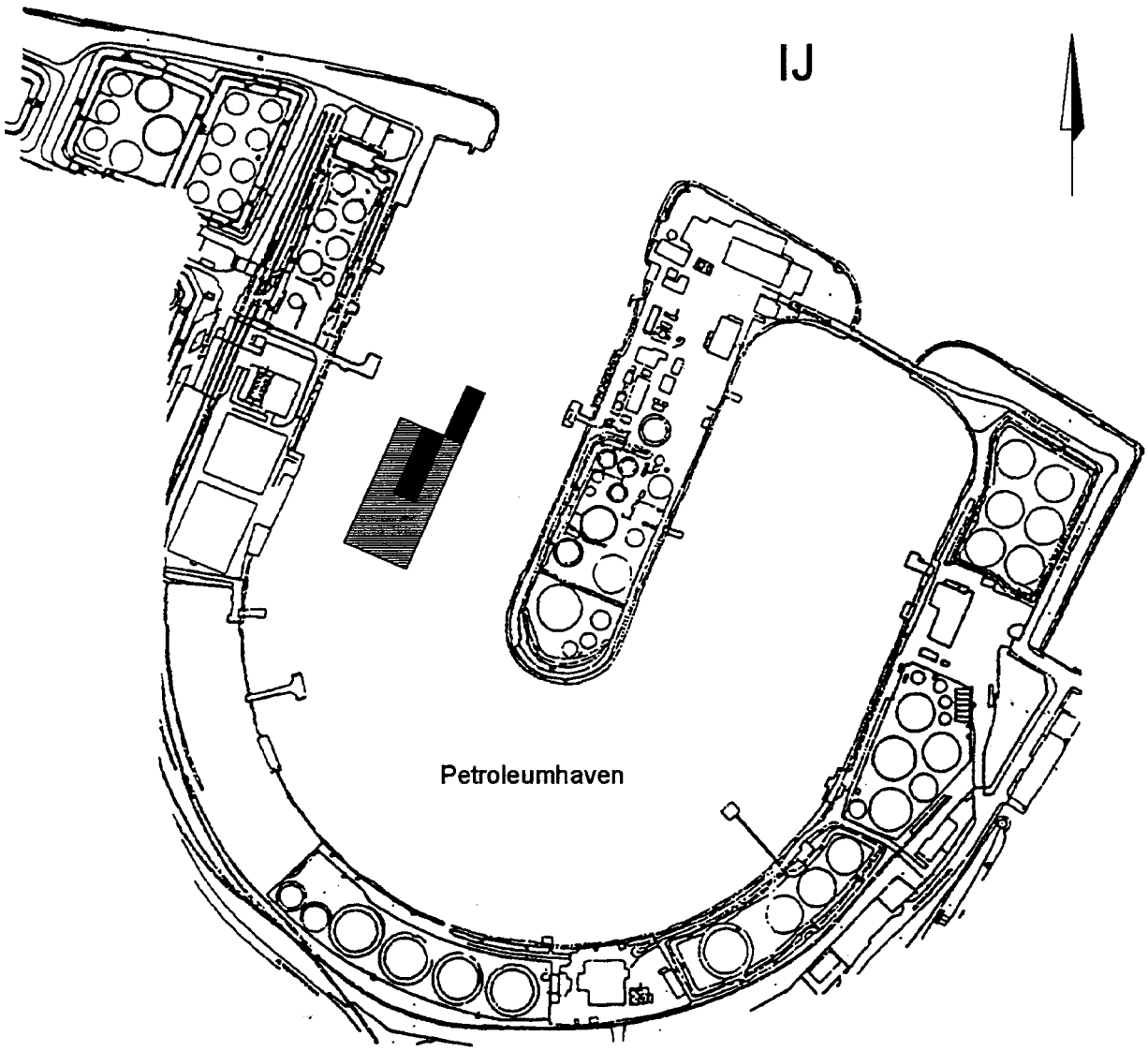
Studie naar de technische mogelijkheid van invoer van onbehandelde "dik gebaggerde" baggerspecie.
Bij een positieve conclusie kan een proef op praktijkschaal deze technische mogelijkheid bevestigen, tezamen met conclusie betreffende de totale verwerkingskosten.

7. LITERATUUR

1. H.J. van Hasselt, Vooronderzoek thermische verwerking baggerspecie Petroleumhaven, mei 1996, intern POSW-rapport
2. F. Niezen et al., Aanvullend POSW-onderzoek pilotsanering 3, Petroleumhaven te Amsterdam, december 1995, intern POSW-rapport
3. A.E. Pfeiffer et al. Thermische verwerking van baggerspecie, een evaluatie van kansrijke technieken, POSW II rapport deel 11, RIZA nota 96.043, september 1996
4. Anonymus, Grootschalige be- en verwerking van baggerspecie, eindrapport deelstudie B1a/B2, voorontwerp en kostenraming be- en verwerkingsinstallaties baggerspecie, september 1996, intern POSW-rapport
5. Anonymus, Haalbaarheidsstudie grootschalige verwerking baggerspecie, eindrapport fase2: scenario's voor verwerking baggerspecie, RIZA-rapport 97.018, maart 1997
6. Comans, R.N.J. en C. Zevenbergen, Beoordeling van het effekt van grondreiniging op de uitloogbaarheid van grond, ECN-rapport C—97-055, augustus 1997

Bijlage 1 Overzicht tekening van Petroleumhaven met locatie baggervak

Overzicht Petroleumhaven Amsterdam



oorspronkelijk te baggeren vak
werkelijk gebaggerd vak - 18/9/'96

Bijlage 2

Rapportage baggerspecie bemonstering
Analyseresultaten:

- ontwaterde baggerspecie
- overtollig water mechanische ontwatering na lamellenafscheider

EODATA BV

Rapport baggerspecie bemonstering

Project : Petroleumhaven te Amsterdam.
Projectnummer : 962PB018

Inleiding

In opdracht van Consulting Bureau Scarabee heeft Bemin Geodata B.V. een partij baggerspecie, afkomstig uit de Petroleumhaven te Amsterdam, bemonsterd en ter analyse aangeboden bij een door Sterlab geaccrediteerd laboratorium. Het gebaggerde materiaal is zowel voor als na onwatering bemonsterd en geanalyseerd. In totaal is 300 ton (droge stof) materiaal bemonsterd.

Werkwijze bemonstering

Bemonstering voor ontwatering: Niebeek milieumanagement.

Bemonstering na ontwatering:
De ontwaterde baggerspecie is opgeslagen in vloeistofdichte containers waarna de gehele partij op 26 september en 9 oktober 1996 is bemonsterd volgens het Intron-model, 30 steekmonsters per 250 ton materiaal. Op 26 september is ca. 80 ton baggerspecie bemonsterd, 10 steekmonsters opgemengd tot één mengmonster. Op 9 oktober is ca. 170 ton baggerspecie bemonsterd, 20 steekmonsters opgemengd tot één mengmonster. Naast de baggerspecie is ca. 50 ton zand gebaggerd. Deze partij zand is afgevoerd naar de stortplaats van NV Afvalzorg te Assendelft waar de partij in twee delen is bemonsterd, 30 steekmonsters per deel opgemengd tot 1 mengmonster.

Algemeen

De analysecertificaten zijn overhandigd aan de opdrachtgever.

Monstercodes mengmonsters:	Containernummer:
- baggerinvoer 18/9/1996;	n.v.t.
- MM1 1e 100 ton ontwaterd (80 ton);	2 maal nummerloos/ FM37 3000/ FM34 22
- MM1 zandfractie;	n.v.t.
- MM2 zandfractie;	n.v.t.
- MM4 baggerspecie (170 ton).	ZM30 3100/ ZM20 3000/ FM5 3000/ ZM22/ 1 maal nummerloos/ FM4 22

Tel.: 073 - 6220080 Fax.: 073 - 6210500 - Postbus 2229 5202 CE 's-Hertogenbosch - Helftheuvelpassage 16 's-Hertogenbosch

ALcontrol · Heinrici
MILIEULABORATORIUM

ALcontrol B.V.
Steenhouwerstraat 15 · 3194 AG Hoogvliet
Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34

BEMIN GEODATA BV
De heer Bornkamp

Projektnaam : Scarabee
Projektnummer : 960903
Ontvangstdatum : 10-10-96
Startdatum : 10-10-96

Rapportnummer : 9641817
Rapportagedatum : 16-10-96

Analyse	Eenheid	X01	X02	X03
droge stof	gew.-%	79.7	82.7	56.2
calciet	% vd DS	10.0	8.2	7.5
org. stof (550 C)	% vd DS	<0.5	0.5	6.4
KORRELGROOTTEVERDELING				
min.delen <2 um	% min st	4.4	5.7	24
min.delen <16 um	% min st	6.4	7.7	35
min.delen <32 um	% min st	6.7	8.1	38
min.delen <50 um	% min st	8.9	12	47
min.delen <63 um	% min st	9.7	12	49
min.delen <125 um	% min st	19	22	61
min.delen <250 um	% min st	83	83	97
min.delen <500 um	% min st	99	99	100
min.delen <1 mm	% min st	99	99	100
min.delen <2 mm	% min st	99	100	100
pH (KCl)	-	8.5	8.7	8.1
METALEN				
arseen	mg/kgds	4.6	4.6	18
cadmium	mg/kgds	<0.5	<0.5	1.2
chroom	mg/kgds	7.3	6.8	27
koper	mg/kgds	9.1	6.7	45
kwik	mg/kgds	0.3	0.3	1.5
lood	mg/kgds	16	15	98
nikkel	mg/kgds	5.1	<5	17
zink	mg/kgds	42	45	250

Kode	Monstersoort	Monsterspecificatie
X01	grond	MM1 ZANDFRACTIE
X02	grond	MM2 ZANDFRACTIE
X03	grond	MM4 BAGGERSPECIE

QUALIFIED BY STERLAB,
ALcontrol is ingeschreven in het sterlabregister voor laboratoria onder no. 28 voor gebieden zoals nader omschreven in de erkenning

Al onze werkzaamheden worden uitgevoerd onder de Algemene Voorwaarden gedeponeerd bij de Kamer van Koophandel en Fabrieken te Breda onder nummer 421. Inschrijving Handelsregister Breda onder nummer 36096

ALcontrol · Heinrici

ALcontrol B.V.
Steenhouwerstraat 15 · 3194 AG Hoogvliet
Tel.: (010) 231 47 00 · Fax: (010) 416 30 34

BEMIN GEODATA BV
De heer Bornkamp

Projektnaam : Scarabee
Projektnummer : 960903
Ontvangstdatum : 10-10-96
Startdatum : 10-10-96

Rapportnummer : 9641817
Rapportagedatum : 16-10-96

Analyse	Eenheid	X01	X02	X03
POLYCYCLISCHE AROMATEN				
naftaleen	mg/kgds	3.4	14	14
anthraceen	mg/kgds	9.4	8.8	55
fenanthreen	mg/kgds	19	25	89
fluorantheen	mg/kgds	20	23	180
benzo(a)anthraceen	mg/kgds	4.9	4.7	42
chryseen	mg/kgds	7.4	7.6	68
benzo(a)pyreen	mg/kgds	3.0	2.6	25
benzo(ghi)peryleen	mg/kgds	1.8	1.3	11
benzo(k)fluorantheen	mg/kgds	1.4	1.2	11
indeno(123-cd)pyreen	mg/kgds	1.6	1.3	9.0
acenaftyleen	mg/kgds	<0.5 2)	<0.7 2)	<1.5 2)
acenaftheen	mg/kgds	8.5	12	60
fluoreen	mg/kgds	2.3	4.4	8.9
pyreen	mg/kgds	16	19	150
benzo(b)fluorantheen	mg/kgds	3.1	2.7	25
dibenz(ah)anthraceen	mg/kgds	0.85	0.49	4.3
Pak-totaal (10 van VROM)		72	90	504
Pak-totaal (16 van EPA)		103	128	752
EOX	mg/kgds	0.15	0.18	0.66
MINERALE OLIE				
fractie C8 - C10	mg/kgds	5	5	75
fractie C10 - C12	mg/kgds	25	35	280
fractie C12 - C14	mg/kgds	60	65	520
fractie C14 - C20	mg/kgds	330	300	2500
fractie C20 - C26	mg/kgds	300	210	2600
fractie C26 - C34	mg/kgds	250	170	2300
fractie C34 - C40	mg/kgds	90	70	680
totaal olie C10-C40	mg/kgds	1000 1)	850 1)	8900

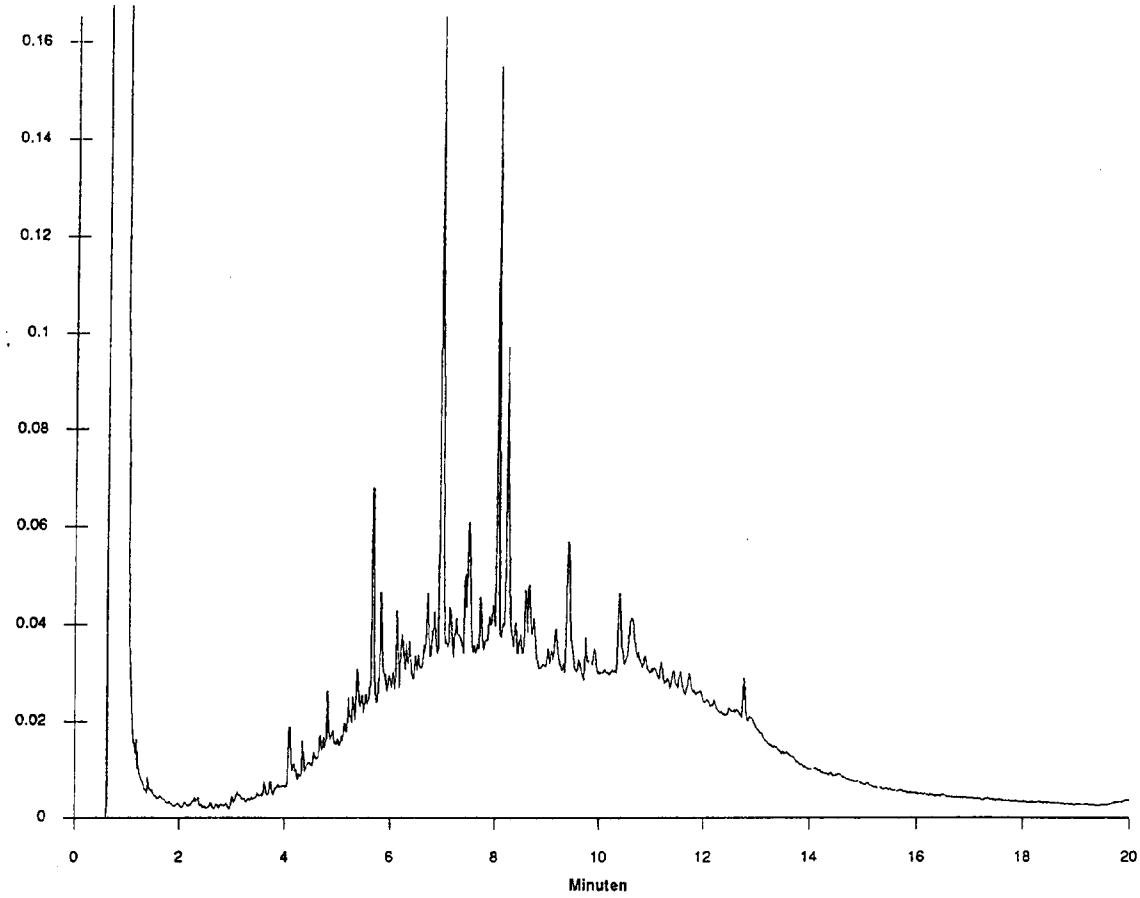
Kode	Monstersoort	Monsterspecificatie
X01	grond	MM1 ZANDFRACTIE
X02	grond	MM2 ZANDFRACTIE
X03	grond	MM4 BAGGERSPECIE

QUALIFIED BY STERLAB,
ALcontrol is ingeschreven in het sterlabregister voor laboratoria onder no. 28 voor gebieden zoals nader omschreven in de erkenning

Al onze werkzaamheden worden uitgevoerd onder de Algemene Voorwaarden gedeponeerd bij de Kamer van Koophandel en Fabrieken te Breda onder nummer 421. Inschrijving Handelsregister Breda onder nummer 36096

Olie GC - chromatogram

Monsternummer: **41817 - 001**
Datum analyse: **11/10/96**



Voor analyseresultaten: zie rapport

Karakterisering olie naar alkaantraject :

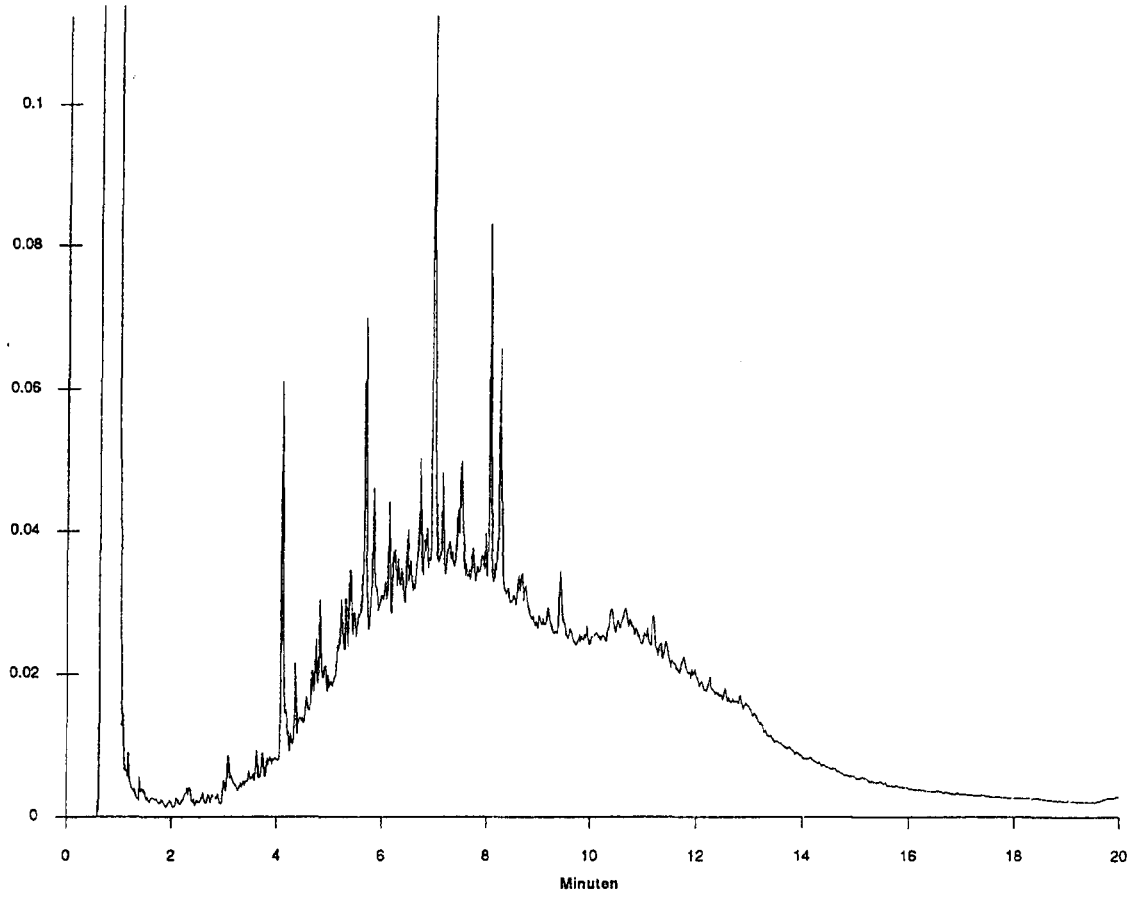
benzine	C9-C14
kerosine en petroleum	C10-C16
diesel en gasolie	C10-C28
motorolie	C20-C36
stookolie	C10-C36
humus	C28-C40

Retentietijden van de even alkanen in minuter

C8	1.3	C20	7.9
C10	2.9	C26	9.9
C12	4.3	C34	12.3
C14	5.3	C40	14.2

Olie GC - chromatogram

Monsternummer: **41817 - 002**
Datum analyse: **11/10/96**



Voor analyseresultaten: zie rapport

Karakterisering olie naar alkaantraject :

benzine	C9-C14
kerosine en petroleum	C10-C16
diesel en gasolie	C10-C28
motorolie	C20-C36
stookolie	C10-C36
humus	C28-C40

Retentietijden van de even alkanen in minuter

C8	1.3	C20	7.9
C10	2.9	C26	9.9
C12	4.3	C34	12.3
C14	5.3	C40	14.2

Ruhr-Carbo Milieu B.V.

Hoofdkantoor en industriële dienstverlening
Petroleumhavenweg 8, 1041 AC Amsterdam
Tel. 020-614 56 79, Fax 020-613 86 81

Verwerkingsinstallatie
Tel. 020-613 02 25, Fax 020-611 87 23

Vestiging Oost Nederland
Industrieweg 54, 6651 KR Druten
Tel. 0487-51 72 90, Fax 0487-51 63 24

L A B O R A T O R I U M R A P P O R T

Datum : 02-10-96
Lab.nummer : I3807
Verkooporder :
Lossing :
Uw referentie : WATER HAVENSLIB RIJKSWATERSTAAT

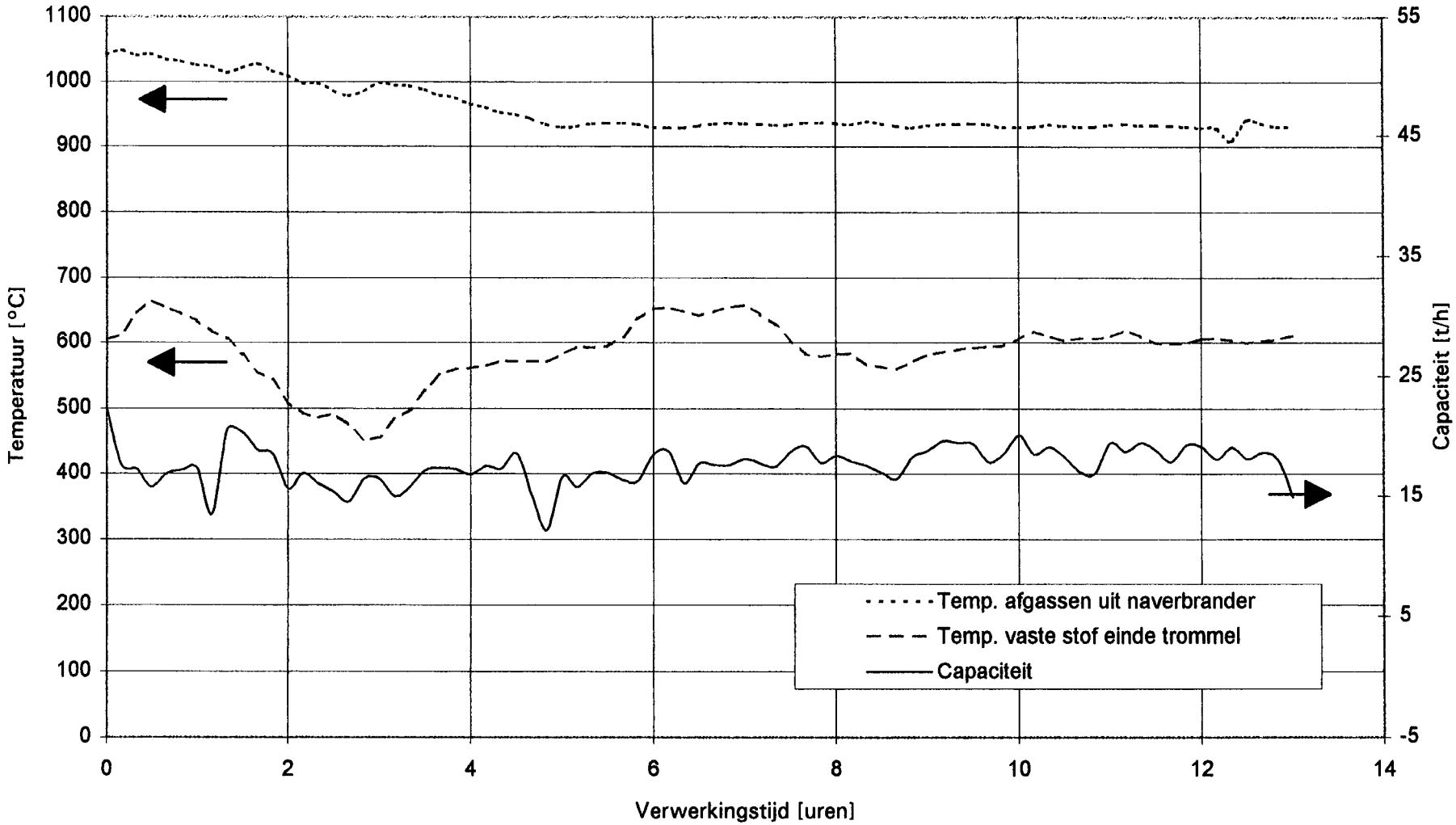
Analyse	Resultaat	Eenheid	Methode	Opmerking
ATER	100.0	VOL%	ASTM D4007	
CZV	108	MG/L	NEN 6633	
EOCL	< 1	MG/L	RIZA OA-3B	
OIL-INDEX	3.68	MG/L	NEN 6675	
FLUORANTHENE	49	UG/L	RIZA B350	
BENZO(B)FLUORANTHENE	5.4	UG/L	RIZA B350	
BENZO(K)FLUORANTHENE	2.1	UG/L	RIZA B350	
BENZ(A)PYRENE	5.4	UG/L	RIZA B350	
BENZO(GHI)PERYLENE	9.5	UG/L	RIZA B350	
INDENO(123cd)PYRENE	1.1	UG/L	RIZA B350	
FENANTREEN	70.2	UG/L	RIZA B350	
ANTRACEEN	19.9	UG/L	RIZA B350	
BENZ(A)ANTRACEEN	7.5	UG/L	RIZA B350	
CHRYSEEN	9.1	UG/L	RIZA B350	
DIBENZ(AH)ANTRACEEN	23.6	UG/L	RIZA B350	

Hoofd laboratorium :

Bijlage 3

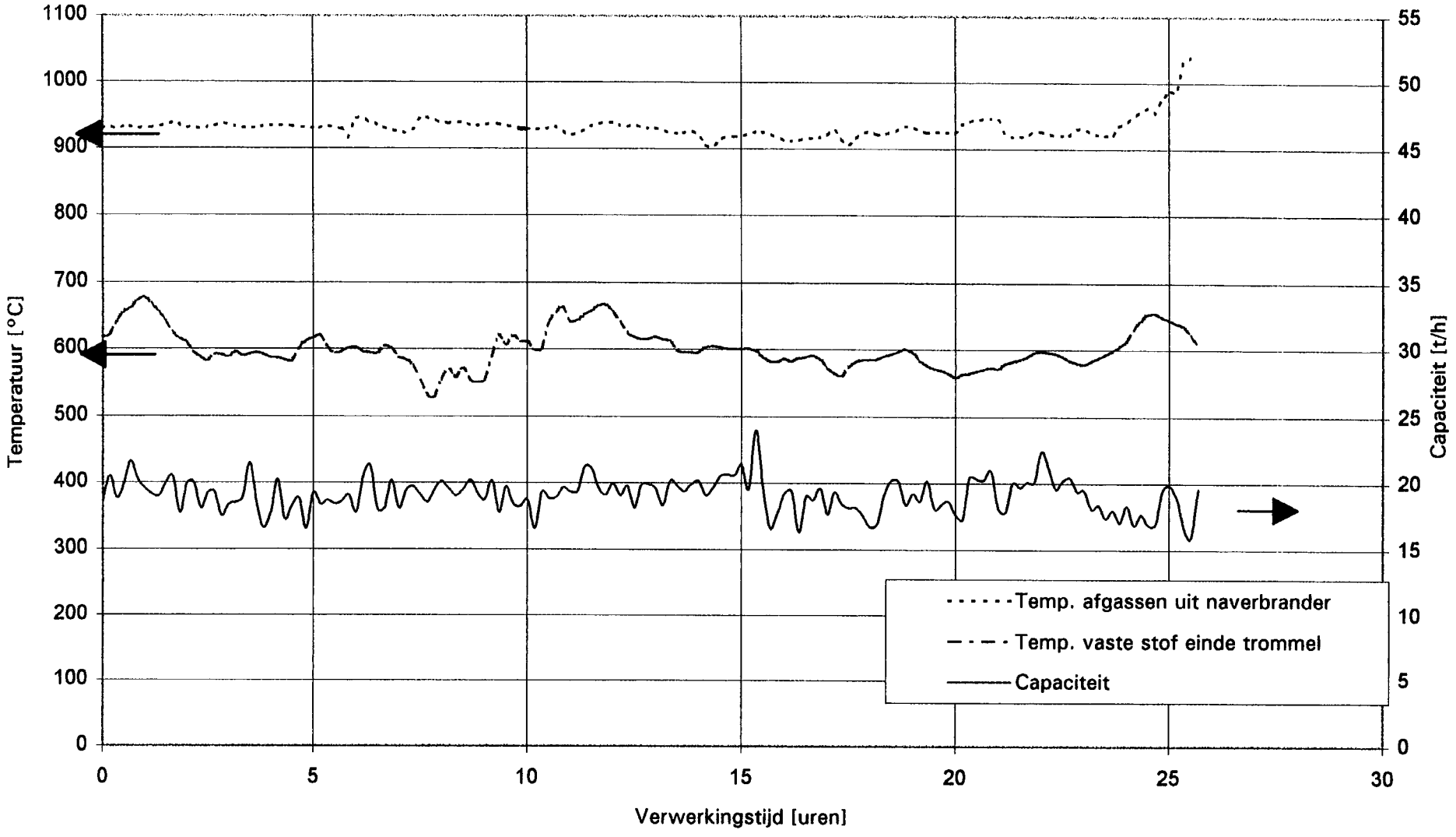
Grafieken temperatuur- en capaciteitsverloop thermische verwerking

Verwerking van 190 ton slibrijke baggerspecie in de grondreinigingsinstallatie van Ecotechniek in de Botlek



Grafiek1

Verwerking van 490 ton zandrijke baggerspecie in
de grondreinigingsinstallatie van Ecotechniek in de Botlek



Grafiek2

Bijlage 4

Toetsing samenstelling gereinigde baggerspecie
Rapportage aanvullend uitloogonderzoek

Tabel 1 TOETSING GEREINIGDE SLIBRIJKE BAGGERSPECIE (ANALYSES ECOTECHNIEK)

ANALYSE	EENHEID	GEREINIGDE SLIBRIJKE SPECIE	TOETSING*		GEREINIGDE SLIBRIJKE SPECIE	TOETSING*	
Monstercode		BL0537	S	I	BL0540	S	I
Gloeiverlies (550°C) (= HUMUS)	% vd ds	< 0,5			0,7		
< 2 µm (= LUTUM)	% vd ds	4,2			4,4		
Totaal minerale olie C10- C40	mg/kg ds	< 20	10	1000	< 20	10	1000
PAK's - totaal (10 van VROM)	mg/kg ds	< 0,1	0,20	8,0	< 0,1	0,20	8,0
PAK's - totaal (16 van EPA)	mg/kg ds	< 0,1	-	-	< 0,1	-	-
METALEN							
As	mg/kg ds	11	17,5	33,2	11	17,6	33,3
Cd	mg/kg ds	0,7	0,5	7,2	0,7	0,5	7,2
Cr	mg/kg ds	24	58	222	25	59	223
Cu	mg/kg ds	35	19	99	35	19	99
Hg	mg/kg ds	0,2	0,2	7,2	0,2	0,2	7,2
Pb	mg/kg ds	100	56	350	120	56	352
Ni	mg/kg ds	15	14	85	16	14	86
Zn	mg/kg ds	170	66	337	170	66	340

S = Streefwaarde
I = Interventiewaarde
< = Onder de detectiegrens
* = Vanwege het verschil in lutum- en humusgehalte van de afzonderlijke monsters kunnen de streef- en interventiewaarde verschillend zijn.

Tabel 2 TOETSING GEREINIGDE ZANDRIJKE BAGGERSPECIE (ANALYSES ECOTECHNIEK)

ANALYSE	EENHEID	GEREINIGDE ZANDRIJKE SPECIE	TOETSING*		GEREINIGDE ZANDRIJKE SPECIE	TOETSING*	
Monstercode		BL0545	S	I	BL0547	S	I
Gloeiverlies (550°C) (= HUMUS)	% vd ds	< 0,5			< 0,5		
< 2 µm (= LUTUM)	% vd ds	2,5			2,7		
Totaal minerale olie C10-C40	mg/kg ds	< 20	10	1000	< 20	10	1000
PAK's - totaal (10 van VROM)	mg/kg ds	< 0,1	0,20	8,0	< 0,1	0,20	8,0
PAK's - totaal (16 van EPA)	mg/kg ds	< 0,1	-	-	< 0,1	-	-
METALEN							
As	mg/kg ds	6,3	16,8	31,9	5,8	16,9	32,0
Cd	mg/kg ds	< 0,5	0,5	7,0	< 0,5	0,5	7,0
Cr	mg/kg ds	11	55	209	11	55	211
Cu	mg/kg ds	12	18	93	11	18	94
Hg	mg/kg ds	0,3	0,2	7,0	0,2	0,2	7,0
Pb	mg/kg ds	31	55	340	28	55	341
Ni	mg/kg ds	8,2	13	75	7,3	13	76
Zn	mg/kg ds	65	61	311	64	61	314

S = Streefwaarde
I = Interventiewaarde
< = Onder de detectiegrens
* = Vanwege het verschil in lutum- en humusgehalte van de afzonderlijke monsters kunnen de streef- en interventiewaarde verschillend zijn.

Opdrachtgever : Consulting Bureau Scarabee

THERMISCHE BEHANDELING VAN BAGGERSPECIE

Rapportage

1061100 7 februari 1997

IWACO B.V.
Vestiging West
Postbus 8520
3009 AM Rotterdam
(010) 286 54 32

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING EN DOELSTELLING 1

2. UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN 1
2.1 Monstername en -voorbehandeling 1
2.2 Thermische behandeling 1
2.3 Samenstelling en uitloging 2
2.4 Aanvullende analyses 2

3. RESULTATEN 2
3.1 Gewichtsverlies tijdens droging en verhitting 2
3.2 Samenstelling en uitloging 3
3.3 Aanvullende analyses 4

4. DISCUSSIE EN CONCLUSIES 5

1. INLEIDING EN DOELSTELLING

In opdracht van Consulting Bureau Scarabee heeft IWACO een onderzoek uitgevoerd naar de milieutechnische perspectieven van het thermische behandelen van verontreinigde baggerspecie, zoals is neergelegd in de offerte met kenmerk CZ-54785 van 5 maart 1996.

In de rapportage worden opzet, resultaten en conclusies beschreven van het onderzoek. In het onderzoek is zowel op laboratoriumschaal, als op praktijkschaal (c.q. in een bestaande thermische grondreinigingsinstallatie) baggerspecie thermisch behandeld.

Het doel van het onderzoek is het verkrijgen van inzicht in de invloed van het thermische behandelen van baggerspecie op de uitloging van anorganische componenten. De temperatuur, die is gekozen bij de thermische behandeling in het laboratorium, komt overeen met de gemiddelde temperatuur die doorgaans in gangbare thermische grondreinigingsinstallaties wordt bereikt.

De opzet van het onderzoek is tot stand gekomen in overleg met Consulting Bureau Scarabee.

2. UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN

2.1 MONSTERNAME EN -VOORBEHANDELING

Monsters laboratoriumproef
Door zorg van Niebeek Milieumanagement is bij het IWACO-laboratorium te Rotterdam op 14 april 1996 1 monster baggerspecie van circa 10 kg (natte specie) in een afgesloten plastic container aangeleverd. Dit monster is afkomstig van een partij baggerspecie van de locatie "Petroleumhaven". In het IWACO-laboratorium is het monster goed gehomogeniseerd. Van het gehomogeniseerde monster zijn deelmonsters afgescheiden.

Monsters praktijkproef
Door zorg van Esdex zijn op 8 november 1996 twee monsters van circa 3 kg in een afgesloten glazen pot aangeleverd bij het IWACO-laboratorium. De twee monsters zijn afkomstig van een partij baggerspecie van de locatie "Petroleumhaven" voor en na thermische behandeling (zie paragraaf 2.2). De thermische behandeling is uitgevoerd in de thermische grondreinigingsinstallatie van Ecotechniek. In het IWACO-laboratorium zijn de monsters goed gehomogeniseerd. Van elk van de gehomogeniseerde monsters zijn deelmonsters afgescheiden.

2.2 THERMISCHE BEHANDELING

Laboratoriumproef
Een deelmonster van circa 3 kg is gedroogd en thermisch behandeld op de volgende wijze.

1. Voordrogen in een stoof bij 40 °C tot constant gewicht. Het gewichtsverlies tijdens de voordroogstap is bepaald.
2. Na het voordrogen is het materiaal met behulp van een roerstaaf losgewoeld. Het losgewoelde materiaal is vervolgens in een stoof bij 105 °C tot constant gewicht nagedroogd. Het gewichtsverlies tijdens deze nadroogstap is bepaald.
3. Na de nadroogstap is het materiaal op gelijke wijze als onder punt 2 losgewoeld. Het losgewoelde materiaal is in een voorverwarmde oven bij een constante temperatuur van 600 °C gedurende 10 minuten verhit. Het gewichtsverlies tijdens deze verhitting is bepaald.
4. Na verhitting is het materiaal aan de lucht gekoeld tot kamertemperatuur, waarna een representatief monster voor verder onderzoek is afgescheiden.

Praktijkproef
De praktijkproef is door Ecotechniek (Botlek) uitgevoerd.
De verontreinigde ontwaterde baggerspecie is vanuit een opslagdepot in een doseertrechter gestort. Via transportbanden is de ontwaterde baggerspecie naar een zeef- en brekermachine gevoerd welke voorzien is van een magneetafscheider voor de verwijdering van eventuele ijzeren delen uit de ontwaterde baggerspecie. Via transportbanden is de gezeefde ontwaterde baggerspecie naar de invoerschroef van de roterende trommel geleid. De baggerspecie is in de roterende trommel indirect en direct verhit. In het eerste deel van de trommel is de baggerspecie indirect door de hete rookgassen tot ca. 300°C voorverwarmd. Hierdoor verdampen met name water en vluchtige componenten uit de baggerspecie. In het tweede deel van trommel is de baggerspecie direct verhit tot max. 600°C. De gereinigde baggerspecie is uit de trommel afgevoerd en tot 75 à 90°C met water gekoeld. Vervolgens is het materiaal naar een opslagdepot voor gereinigde grond getransporteerd.

2.3 SAMENSTELLING EN UITLOGING

Van zowel de onbehandelde als de thermisch behandelde deelmonsters is de uitloging bepaald met behulp van de gestandaardiseerde kolomproef (NEN 7343). De percolaten van de kolomproef met een cumulatieve (meng)fractie van L/S=1 en 10 zijn geanalyseerd op de volgende componenten:

- metalen: arseen, koper, lood, cadmium, zink, chroom, molybdeen, seleen en nikkel;
- anionen: bromide, sulfaat en fluoride.

Daarnaast zijn van de mengpercolaten de pH en EC bepaald.

Van het onbehandelde deelmonster van de laboratoriumproef en van het onbehandelde en behandelde deelmonster van de praktijkproef is tevens het totaalgehalte bepaald aan arseen, koper, kwik (alleen praktijkproef), lood, cadmium, zink, chroom, molybdeen, seleen en nikkel. Daarnaast is ook van de deelmonsters van de praktijkproef het totaalgehalte bepaald aan bromide, fluoride en sulfaat.

2.4 AANVULLENDE ANALYSES

Van alle deelmonsters zijn bepaald:

- de CEC (= cation exchange capacity). Deze parameter is in het onderzoek meegenomen om de bindingscapaciteit voor zware metalen voor en na thermische behandeling te bepalen.
- de mineraalinhoud met behulp van röntgendiffractie. Röntgendiffractie onderzoek aan het onbehandelde en behandelde materiaal geeft inzicht welke mineralogische veranderingen optreden door de thermische behandeling.

3. RESULTATEN

3.1 GEWICHTSVERLIES TIJDENS DROGING EN VERHITTING LABORATORIUM-PROEF

In tabel 1 zijn de gewichtsverliezen (in % m/m) na droging en verhitting weergegeven.

Tabel 1. Gewichtsverliezen bij droging en verhitting.

	gewichtsverlies (in %)	oorzaak van het gewichtsverlies
voordroogstap (40 °C)	62,0	verdamping 'vrij' water
nadroogstap (105 °C)	1,9	verdamping 'vrij' water en kristalwater
verhitting (600 °C)	11,5	uitstoot gebonden water aan kleimineralen en ontleding organisch stof

SAMENSTELLING EN UITLOGING

In onderstaande tabellen zijn de resultaten opgenomen van het samenstellingsonderzoek (onbehandelde specie) en het uitloogonderzoek (onbehandelde en thermisch behandelde specie).

Tabel 2. Resultaten samenstellings- en uitloogonderzoek monsters laboratoriumproef.

Component	Onbehandeld			Thermisch behandeld		
	Samenstelling (in mg/kg ds)#	Cumulatieve emissie (in mg/kg ds)		Cumulatieve emissie (in mg/kg ds)		U_1-norm
		L/S = 1	L/S = 10@	L/S = 1	L/S = 10	(0,7 m)
Br	n.o.	10,4	42,4	36	41,8	2,9
SO4	n.o.	100	9.100	1.600	14.700	1.136
F	n.o.	0,55	6,9	6,3	14,5	13
As	39	0-0,002	0,37	0-0,002	0,22	0,88
Cd	2,7	0-0,0004	0-0,004	0-0,0004	0-0,004	0,032
Cr	57	0,014	0,042	0,29	0,72	1,3
Cu	73	0-0,002	0,062	0-0,002	0,025-0,027	0,72
Pb	240	0-0,005	0-0,05	0,005	0-0,05	1,9
Mo	3,2	0-0,005	0-0,05	0,54	1,13	0,28
Ni	35	0-0,005	0-0,05	0-0,005	0-0,05	1,1
Se	77	0-0,001	0,017	0,049	0,11	0,044
Zn	530	0-0,005	0,068	0-0,005	0,051	3,8
pH		8,2	8,1	11,2	11,0	
EC (uS/cm)		8.660	3.280	15.690	2.510	

Tabel 3. Samenstellings- en uitlooggegevens monsters praktijkproef

component	onbehandeld			thermisch behandeld			
	samenstelling (in mg/kgds)	maximale cumulatieve emissie (in mg/kgds)		samenstelling (in mg/kgds)	maximale cumulatieve emissie (in mg/kgds)		U_1-norm
		L/S=1	L/S=10		L/S=1	L/S=10	(0,7 m)
Br	8,8	5,3	9,37	n.o.	7,3	8,77	2,9*
SO_4	12.491	3.200	11.500	n.o.	1.700	5.160	1.136*
F	9,9	0,6	12,8	n.o.	5,4	22,7	13
As	18	0-0,002	0-0,02	10,2	0,03	0,25	0,88
Cd	2,9	0-0,004	0-0,004	0,77	0-0,004	0-0,004	0,032
Cu	63	0,006	0,043	39	0,004	0,004-0,022	1,3
Cr	39	0,02	0,02-0,03	26	0,02	0,020-0,029	0,72
Hg	1,7	0-0,0003	0-0,0003	0,27	0-0,0003	0-0,0003	0,018
Pb	104	0-0,005	0-0,051	112	0-0,005	0-0,05	1,9
Mo	3,0	0,008	0,124	2,2	0,28	0,37	0,28
Ni	20,9	0,018	0,085	15,8	0-0,0005	0-0,05	1,1
Se	9,4	0-0,002	0-0,02	< 5,0	0-0,0002	0-0,02	0,044
Zn	281	0,065	0,163	175	0,012	0,012-0,057	3,8
pH	n.o.		7,8	n.o.	7,6	7,9	
Ec (μS/cm)	n.o.		1.811	n.o.	5.200	757	

Toelichting:
* voor toepassing, waarbij contact mogelijk is met brak of zeewater gelden andere niveau's

Uit bovenstaande tabel volgt:

i <u>laboratoriumproef</u>: ten gevolge van de thermische behandeling neemt de pH en de uitloging van SO4, F, Cr, Mo en Se toe en die van As, Cu en Zn af. Voor de overige onderzochte componenten blijft de uitloging (voor zover detecteerbaar) op een gelijk niveau. De uitloging van Br blijft na thermische behandeling gelijk.
<u>praktijkproef</u>: ten gevolge van de thermische behandeling neemt de uitloging van F, As en Mo toe. Daarentegen blijft de pH nagenoeg gelijk en neemt de uitloging van SO4 en van de onderzochte metallische verontreinigingen af. De uitloging van Br blijft na thermische behandeling gelijk.

ii wanneer de uitloging (kolomtest L/S=10) van de onderzochte componenten wordt vergeleken met de U1-waarde (bij een toepassingshoogte van 0,7m) uit het Bouwstoffenbesluit dan volgt dat van een overschrijding van deze uitloognorm sprake is voor:
(i) Br en SO4 voor zowel de onbehandelde als de behandelde monsters;
(ii) Mo en F voor beide behandelde monsters;
(ii) Se voor het in het laboratorium behandelde monster.

De uitloging van alle overige onderzochte componenten liggen onder deze uitloognorm.

3.2 AANVULLENDE ANALYSES

In tabel 4 zijn de resultaten van de CEC-bepaling en de röntgendiffractie weergegeven.

Tabel 4. Resultaten CEC-bepalingen en röntgendiffractieanalyses van de kleifracties.

mineraal	laboratoriumexperiment		praktijkexperiment	
	voorbehandeld	thermisch voor-behandeld	onbehandeld	thermische behandeld
CEC (meg/100 g)	17,6	8,7	15,1	4,1
Kleimineralen:				
kaoliniet	++	-	++++	-
mica/illiet	++	+	++++	+++
vermiculliet	-	-	-	-
chloriet	-	-	+++	-
smectiet	-	-	++++	-
Overige mineralen				
Kwarts	++++	++++	++++	++++
Veldspaat	+++	+++	+	+
Hematiet	-	++	-	-
Magnetiet	-	-	-	-/+
Pyriet	++	-	+	-
Calciet	++	-	+	+
Anhydriet	-	+	-/+	-/+

++++ overvloedig +++ sterk aanwezig ++ matig aanwezig + aanwezig -/+ detecteerbaar
\- niet detecteerbaar

Uit tabel 4 volgt dat:
i de CEC van de specie ten gevolge van de thermische behandeling afneemt. Deze afname is een gevolg van enerzijds ontleding van organische stof en anderzijds dehydroxylatie en (gedeeltelijke) verglazing van de kleimineralen. Omdat aan het thermisch behandelde materiaal nauwelijks water is toegevoegd, mag worden verwacht dat er geen secundaire fasen aanwezig zijn die een positieve bijdrage leveren aan de CEC.

ii ten gevolge van de thermische behandeling zijn de kleimineralen kaoliniet, smectiet en chloriet volledig ontbonden (tot amorf aluminiumsilicaat), terwijl illiet slechts voor een deel is getransformeerd. Omdat de thermische transformatie en ontleding van kleimineralen zich binnen vrij nauwe temperatuurstrajecten afspelen, kan aan de hand van deze mineralogische analyse een indicatie worden verkregen van de temperatuur waaraan de monsters (maximaal) zijn blootgesteld geweest. Aangezien kaoliniet en illiet volledig ontbonden worden bij een temperatuur van respectievelijk circa 550 en 670 °C, mag worden aangenomen dat de temperatuur van beide proeven inderdaad rond of juist boven de 600 °C is geweest. In de laboratoriumproef worden calciet en pyriet vrijwel volledig ontleed, waaruit vervolgens (voor een deel) anhydriet (CaSO4) en CaO ontstaan. Calciet ontleedt volgens de reactie $CaCO_3$ -> CaO + CO_2. Deze reactie treedt op bij een temperatuur vanaf 600 tot 1050 °C afhankelijk van de verblijfstijd en samenstelling van de atmosfeer. Dit laatste mineraal draagt bij aan de gevonden toename in alkaliniteit van het monster dat is behandeld in de laboratoriumproef. Deze omzetting heeft niet in kwantificeerbare hoeveelheden plaats gevonden in de praktijkproef. Mogelijk is de verblijfstijd in de oven hier te kort voor geweest. Het pyriet wordt volledig geoxideerd bij een temperatuur tussen de 350 en 500 °C. Naast de bijdrage aan de vorming van anhydriet levert de oxidatie van pyriet ook hematiet op. Kwarts en veldspaat, die het hoofdaandeel vormen van de specie, worden niet ontbonden. In de praktijkproef wordt daarentegen geen hematiet gevormd, maar blijken er na de thermische behandeling sporen van magnetiet aanwezig te zijn. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de omstandigheden in de praktijkproef reducerend en die in de laboratoriumproef oxiderend zijn geweest.

4. DISCUSSIE EN CONCLUSIES

De uitloging van sulfaat, fluoride en van de oxyanionen van chroom, molybdeen en seleen voor de onderzochte specie zijn toegenomen ten gevolge van de thermische behandeling in het laboratorium. Daarentegen is sprake van een afname van de uitloging van de meeste onderzochte kationogene metalen. De toename van de sulfaat-uitloging kan worden toegeschreven aan oxidatie van pyriet, terwijl de toename van de uitloging van de oxyanionen naar verwachting samenhangt met een toename van de alkaliniteit van het materiaal. Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat de thermische behandeling in het laboratorium, de specie volledig heeft geoxideerd en dat de aanwezige kleimineralen voor een deel zijn ontbonden (tot amorfe gedehydrateerde aluminiumsilikaten).

In de praktijkproef hebben daarentegen hebben reducerende omzettingen plaatsgevonden, hetgeen ondermeer tot uitdrukking komt in de lagere sulfaatuitloging van het behandelde monster. Ook hier neemt de uitloging van de onderzochte kationische metalen af, terwijl die van molybdeen en fluoride toeneemt. De omzetting van een deel van de kleimineralen in amorf materiaal heeft ook hier plaatsgevonden. Op basis van de kleimineralogische karakterisatie is bevestigd dat de temperatuur bij beide experimenten vergelijkbaar zijn geweest, namelijk rond de 600 °C.

Op grond van een overschrijding van de uitloging van de U1-waarde voor sulfaat, bromide, fluoride en molybdeen (en seleen voor het in het laboratorium behandelde monster) voldoet de onderzochte thermisch behandelde baggerspecie niet aan de uitloogeisen die gelden voor categorie-1 grond uit het Bouwstoffenbesluit. Ten aanzien van sulfaat en bromide dient echter te worden dat de uitloging van deze parameters voor de onderzochte onbehandelde specie eveneens de U1-waarde overschrijdt.

Resumerend kan worden gesteld dat (i) de uitgevoerde laboratoriumproef geen reële simulatie is van de praktijk van thermische grondreiniging en (ii) het thermisch behandelen van de onderzochte baggerspecie in een conventionele thermische grondreinigingsinstallatie leidt tot een product dat op grond van de uitloging van Br, SO4, F en Mo als zodanig niet voldoet aan de eisen die gelden voor categorie 1 bouwstoffen

Bijlage 5

Vergunningsvoorschriften luchtemissies grondreinigingsinstallatie Ecotechniek Botlek

Vergunningsvoorschriften thermische grondreinigingsinstallatie van Ecotechniek t.a.v. emissie van stoffen naar de lucht

Vergunningseisen

De emissies mogen de volgende grenswaarden (uurgemiddelde waarden) niet overschrijden:

a.	fluoriden (gemeten als F^-)	:	1 mg/Nm^3
b.	zwaveldioxide	:	40 mg/Nm^3
c.	zoutzuur	:	10 mg/Nm^3
d.	cyanide (CN-totaal)	:	1 mg/Nm^3
e.	stof	:	5 mg/Nm^3
f.	totaal aan enkelvoudige koolwaterstoffen	:	5 mg/Nm^3
g.	totaal aan polycyclische aromatische koolwaterstofverbindingen	:	2 µg/Nm^3 (tijdelijk 100 µg/Nm^3 [1])
h.	cadmium (stof- en gasvormig)	:	0,05 mg/Nm^3
i.	kwik (stof- en gasvormig)	:	0,05 mg/Nm^3
j.	koolmonoxyde	:	50 mg/Nm^3 (tijdelijk 100 mg/Nm^3 [1])
k.	stikstofoxiden (als NO_2)	:	200 mg/Nm^3 (streefwaarde)
l.	organische verbindingen (als C)	:	10 mg/Nm^3
m.	de som van de zware metalen Pb, Cr, Cu, Mn, As, Sn, Co, Ni, Sb, V, Se, Te	:	1,0 mg/Nm^3
n.	PCDD's en PCDF's	:	0,1 ng TEQ/Nm^3

De emissies van de installaties moeten zodanig zijn beperkt dat in de woongebieden geen enkele door de inrichting veroorzaakte geur waarneembaar is.

Meting van de emissies naar de lucht

De emissiebepalende procescondities, te weten trommel- en naverbrandertemperatuur, moeten continu worden geregistreerd. De concentraties aan koolmonoxyde, zwaveldioxide, organische stoffen en stikstofoxiden in de gereinigde rook- en afgassen moeten continu worden gemeten en geregistreerd. Tijdens de bewerking van cyanide houdende grond dient eenmaal per twee weken een rookgasmonster worden geanalyseerd op cyanide. Eenmaal per twee weken moet de concentratie van waterstofchloride, enkelvoudige aromatische en stofgebonden polycyclische koolwaterstofverbindingen alsmede stof in de rookgassen worden gemeten en geregistreerd. Eenmaal per kwartaal moet de concentratie van stikstofoxiden, fluor, cadmium, kwik (stof- en gasvormig) en de som zware metalen in de gereinigde rookgassen worden gemeten. Eenmaal per jaar dient de emissie van PCDD's en PCDF's in de gereinigde rookgassen te worden gemeten.

Bijlage 6

Schema praktijkproef thermische verwerking baggerspecie Petroleumhaven met massastromen

Massastromen thermische verwerking van baggerspecie Petroleumhaven

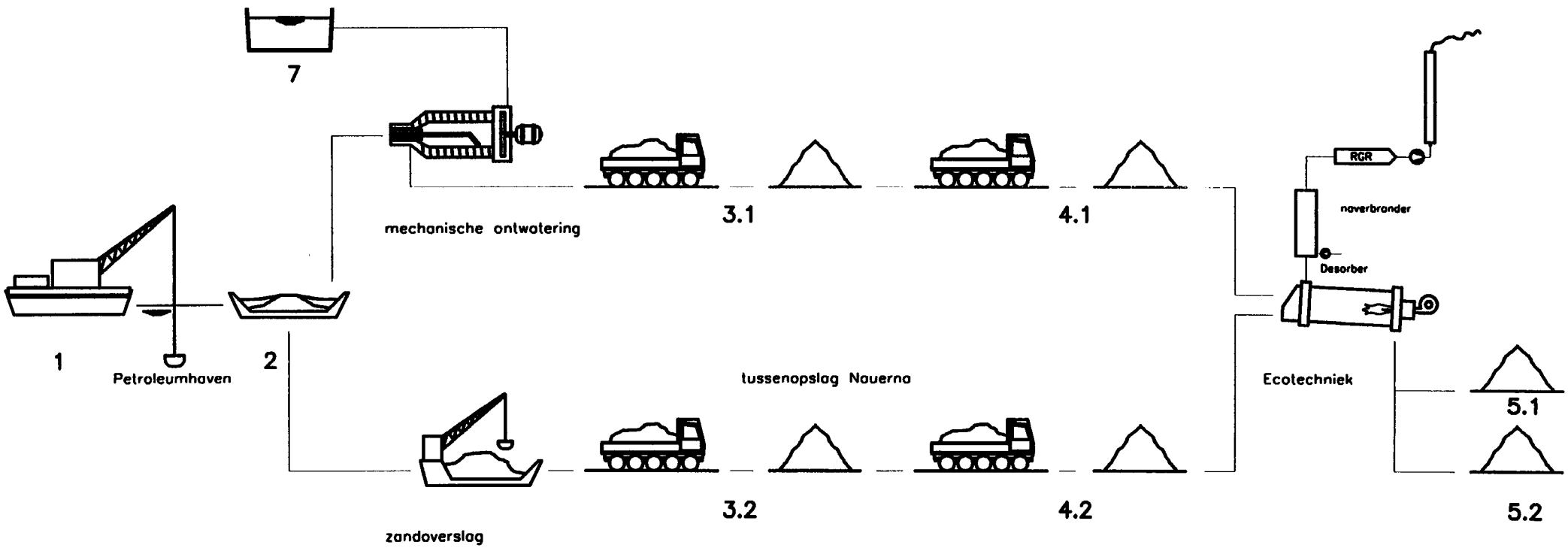
		1	2 *	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2	7	
		in haven 1)	in schip 2)	slibfr. Na.2)	zandfr. Na.2)	slibfr. Eco.2)	zandfr.Eco.2)	ger. slibfr2)	ger. zandfr2)	water 3)	
totaal	ton	770	760	191,4	494,1	189,8	490,5	143	431	-	
water	ton	462	251	84	92,9	56,9	87,5	15,7	34,5	628	m³
droge stof	ton	308	509	107	401,2	132,9	403	127,3	396,5	niet bepaald	mg/l
droge stof	%	40	67	56	81	70	82	89	92	-	
fractie < 63 µ	% m/m ds	40	15	49	11	30	12	24	13	-	
fractie < 2 µm	% m/m ds	18	7	24	5	15	5	4	3	-	
org fractie	% m/m ds	13	2	6	0,5	4	1	< 0.5	< 0.5	-	
PAK's	mg/kg ds	322	217	752	117	299	88	< 1	< 1	200	µg/l
Olie	mg/kg ds	5400	1500	8900	925	5250	1125	< 20	< 20	4	mg/l

* berekend uit de tonnages van de stromen 3.1 en 3.2 en het droge stofgehalte van stroom 2

1) aanvullend onderzoek POSW monster 7.4 diepte 0-.51
2) monster, analyse Alcontrol, weging weegbrug
3) monster, analyse RCM, meting debietmeter

Na. = terrein Nauerna
Eco. = terrein Ecotechniek
ger. = gereinigd, terrein Ecotechniek

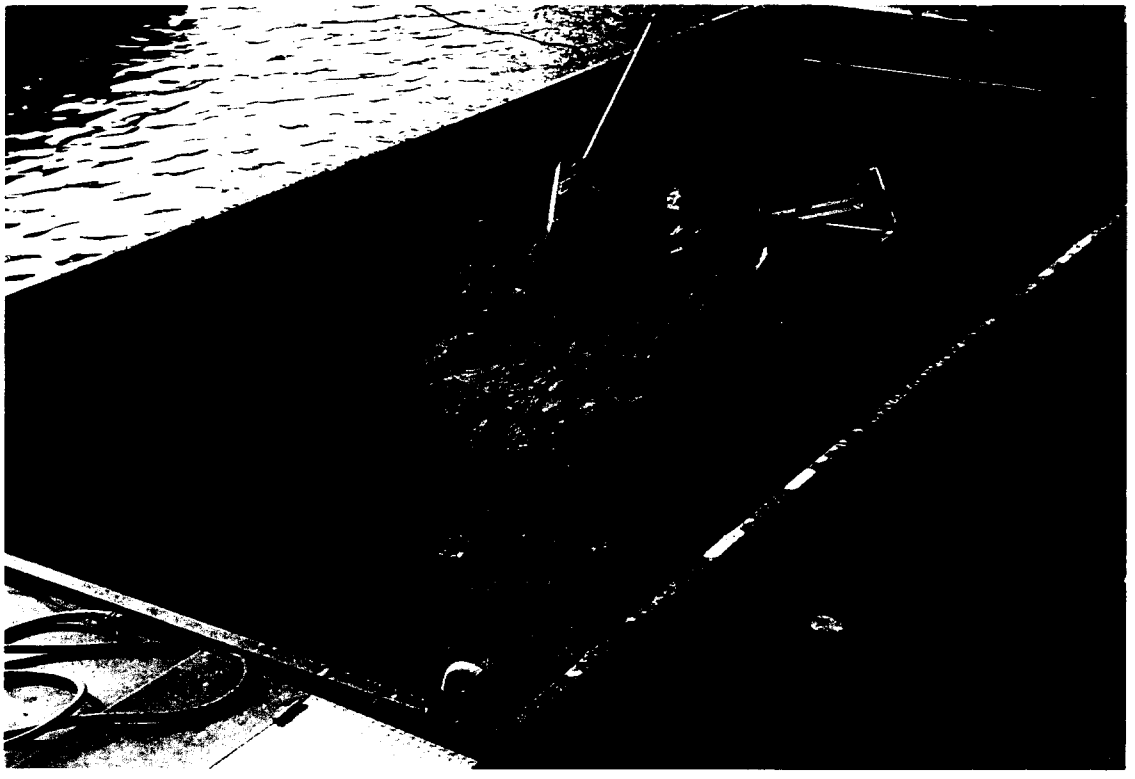
Schema thermische verwerking baggerspecie Petroleumhaven



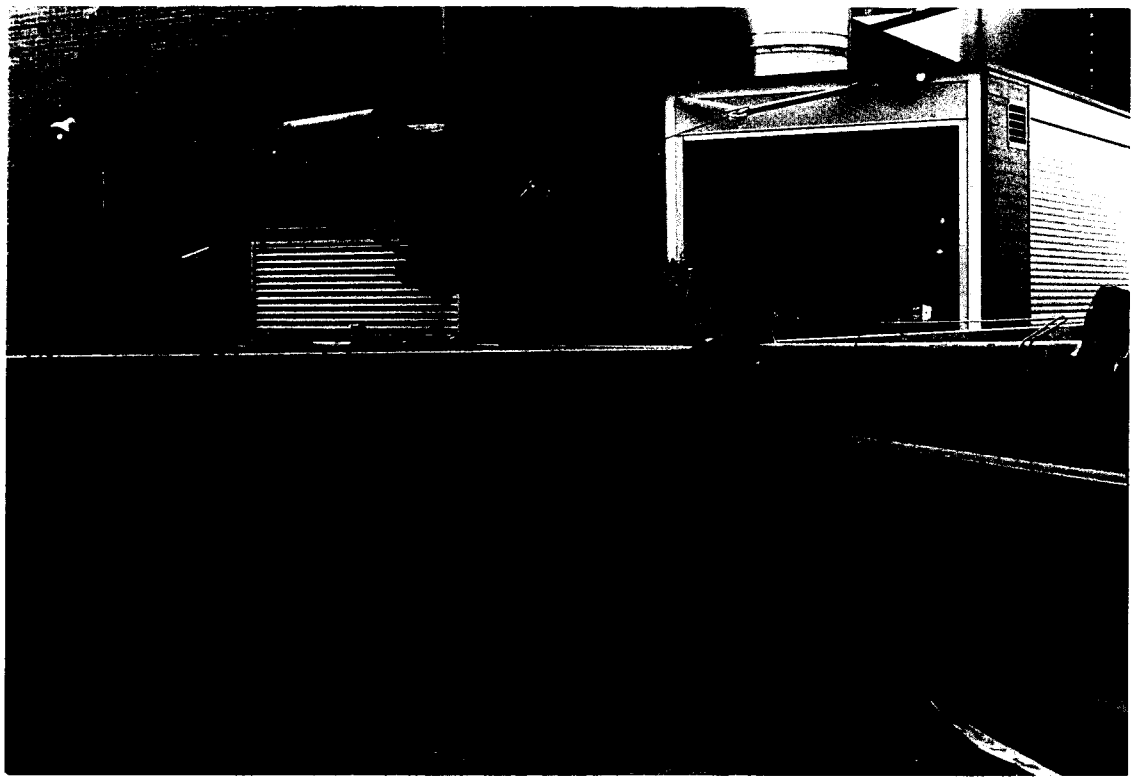
Bijlage 7

Fotoreportage

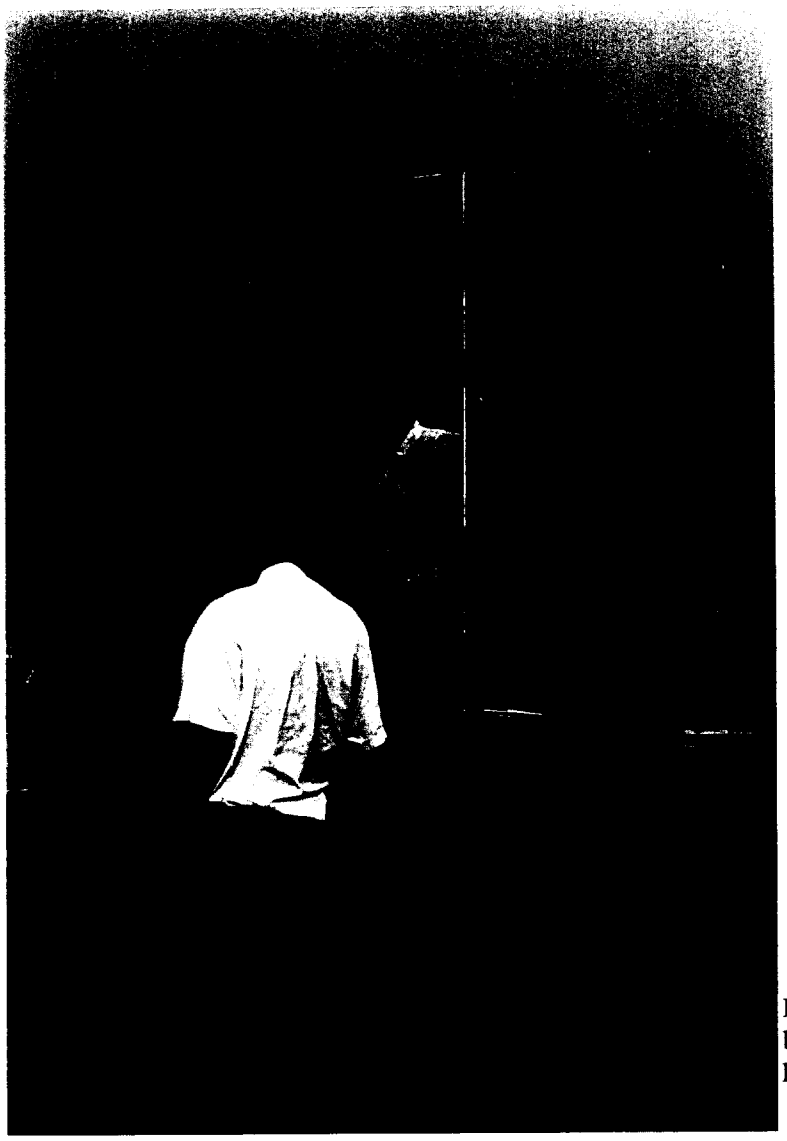
De fijne baggerspecie wordt in suspensie gebracht, opgepompt en ontwaterd.



De zanderige specie wordt met een kraanschip geknepen en in een aparte beun opgeslagen.



De uitloop van de decanteer centrifuge met containerbakken voor opvang van ontwaterde baggerspecie.



De eerste hoeveelheid ontwaterde baggerspecie wordt bemonsterd. De korrelstructuur is al zeer zanderig.

De thermisch gereinigde baggerspecie komt als schone grond uit de installatie