

TNO-rapport

Kosten verwerking baggerspecie

Referentienummer 94-356
Dossiernummer 112322-24495
Datum oktober 1994
NP

Auteur
Dr. J. Joziasse

Met medewerking van
Ing. E.A.P.M. Carpay (Heidemij Advies)
Ing. P.H. Lansink
Ing. H.J. van Veen

Trefwoorden
— baggerspecie
— kosten
— verwerkingstechnieken

Bestemd voor
Ministerie van VROM/DGM

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van VROM is een model opgesteld, waarmee kostenschattingen kunnen worden gemaakt voor de verwerking van baggerspecie. De verwerkingstechnieken hebben tot doel dat de baggerspecie zodanig in kwaliteit wordt gewijzigd, dat hergebruik of nuttige toepassing mogelijk is.

Het project heeft zich met name gericht op het vaststellen van de gevoeligheid van de verwerkingskosten voor een aantal factoren. De verwerkingskosten zijn berekend exclusief bagger- en transportkosten, stortkosten en exclusief eventuele opbrengsten van produkten. De geselecteerde factoren zijn:

1. De jaarlijkse hoeveelheid te behandelen specie;
2. De aard van de verontreinigende stoffen;
3. De verdeling van de verontreinigende stoffen;
4. De verontreinigingsgraad;
5. De macro-samenstelling van de specie;
6. De ontwaterbaarheid van de specie.

Deze factoren zijn elk op 2 of 3 niveaus gevarieerd. De varianten (ketens van verwerkingstechnieken), waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd, zijn:

- Variant A: hydrocyclonage met ontwateren van de bovenloop en wassen van de onderloop;
- Variant B: hydrocyclonage met ontwateren van de bovenloop en floteren van de onderloop;
- Variant C: hydrocyclonage met ontwateren en immobiliseren van de bovenloop en wassen van de onderloop;
- Variant D: biologische reiniging van de volledige specie door middel van landfarming (zandige specie) of een beluchtingsbassin (slibrijke specie), dan wel (in geval van matig zandige specie) hydrocyclonage gevolgd door behandeling van de onderloop met een landfarm en van de bovenloop met een beluchtingsbassin.

Sommige van deze varianten zijn slechts toepasbaar voor bepaalde (combinaties van) factoren, zoals aard van verontreinigende stoffen, samenstelling van de specie, etc.

Met het ontwikkelde Symphony-spreadsheet model kan snel de invloed van de genoemde zes variabelen op de verwerkingskosten en hoeveelheden produkten worden getoond. Daarnaast zijn resultaten van wijzigingen in (getalsmatige) uitgangspunten momentaan te verkrijgen. Als resultaat van de modelberekeningen met de in dit rapport beschreven uitgangspunten is er voor een groot aantal gevallen (combinaties van factoren) een schatting gemaakt van de baggerspecieverwerkingskosten en van de hoeveelheden materiaal die vrijkomen voor hergebruik, nuttige toepassing en stort. Een zeer wezenlijk uitgangspunt bij de berekeningen is een continue aanvoer van baggerspecie.

De belangrijkste conclusies worden hieronder kort weergegeven:

- Alleen bij de varianten A en B is er sprake van een invloed van factor 1 (de jaarlijkse hoeveelheid te behandelen specie) op de kosten (per ton d.s.).
- De aard van de verontreinigende stoffen (factor 2) heeft slechts een zeer geringe invloed (maximaal enkele procenten voor variant B) op de kosten.
- De verdeling van de verontreinigingen (factor 3) is niet van belang voor de kosten, maar alleen voor de hoeveelheden produkten.

Kosten verwerking baggerspecie

- Bij variant A en B is er een geringe invloed van de verontreinigingsgraad op de kosten (factor 4). Bij de grootste jaarlijkse hoeveelheid (10 miljoen ton specie) is de invloed praktisch nihil. Bij variant D zijn de kosten wel sterk afhankelijk van deze factor.
- De macro-samenstelling (factor 5) heeft bij alle varianten een belangrijke invloed op de kosten per ton droge stof. Met zandige specie worden de laagste kosten gevonden, met slibrijke specie de hoogste (met uitzondering van variant D). De invloed van deze factor is het grootst bij slecht ontwaterbare specie. Bij variant D is de invloed relatief klein; hier zijn de kosten voor slibrijke specie iets lager dan voor matig zandige specie.
- De ontwaterbaarheid (factor 6) is van groot belang voor de kosten bij variant A, B en C en iets minder bij variant D. De invloed is het kleinst bij zandige specie.

De resultaten van de kostprijsberekeningen kunnen als volgt globaal worden samengevat (afgerond op hfl 5/ton d.s.):

- Voor variant A liggen de kosten bij een jaarlijkse hoeveelheid van $5 \cdot 10^5$ ton d.s. tussen 50 hfl/ton d.s. (voor zandige, goed ontwaterbare, licht verontreinigde specie) en 130 hfl/ton d.s. (voor matig zandige, slecht ontwaterbare, zwaar verontreinigde specie). Bij een jaarlijkse hoeveelheid van $2 \cdot 10^6$ ton d.s. zijn deze bedragen respectievelijk 40 en 120 hfl/ton d.s.; bij een jaarlijkse hoeveelheid van $10 \cdot 10^6$ ton d.s. respectievelijk 40 en 95 hfl/ton d.s.
- Voor variant B liggen de kosten bij een jaarlijkse hoeveelheid van $5 \cdot 10^5$ ton d.s. tussen 65 hfl/ton d.s. (voor zandige, goed ontwaterbare, licht verontreinigde specie) en 165 hfl/ton d.s. (voor matig zandige, slecht ontwaterbare, zwaar verontreinigde specie). Bij een jaarlijkse hoeveelheid van $2 \cdot 10^6$ ton d.s. zijn deze bedragen respectievelijk 55 en 155 hfl/ton d.s.; bij een jaarlijkse hoeveelheid van $10 \cdot 10^6$ ton d.s. respectievelijk 50 en 130 hfl/ton d.s.
- Bij variant C liggen de kosten - onafhankelijk van de jaarlijkse hoeveelheid - tussen 130 hfl/ton d.s. (voor zandige, goed ontwaterbare specie) en 320 hfl/ton d.s. (voor slibrijke, slecht ontwaterbare specie).
- Voor variant D liggen de kosten - onafhankelijk van de jaarlijkse hoeveelheid - tussen 85 hfl/ton d.s. (voor zandige, licht verontreinigde specie) en 350 hfl/ton d.s. (voor matig zandige, zwaar verontreinigde, slecht ontwaterbare specie). Bij deze variant zijn de kosten in sterke mate afhankelijk van de aanname betreffende het aantal jaarlijks te behandelen batches.

Bij de vergelijking van de kostprijsresultaten (in hfl per ton d.s.) voor de verschillende varianten moet worden bedacht dat de varianten verschillende toepassingsvoorwaarden stellen en verschillende soorten produkten leveren, zodat niet alléén de kostprijsresultaten mogen worden beschouwd. Zo leveren de varianten A en B produkten waarvan altijd een deel moet worden gestort. De varianten C en D leveren daarentegen vrijwel alleen herbruikbare of nuttig toepasbare produkten. Verder zal de ene specie bijvoorbeeld alleen met één van de beschouwde varianten kunnen worden behandeld, terwijl voor een andere specie meerdere varianten toepasbaar zijn.

Eveneens moet worden bedacht, dat de beschouwde varianten tamelijk willekeurig zijn geselecteerd en dat er meer varianten in het model kunnen worden opgenomen, die mogelijk sterk afwijkende kostenplaatjes laten zien. Om de bruikbaarheid van het model te vergroten, kan dit worden uitgebreid met enkele nader te selecteren, realistische verwerkingsroutes. Ook kan worden overwogen om de storkosten en de eventuele opbrengsten van produkten in het model in te bouwen en om een verband te leggen met de aanbodzijde van de verschillende types specie.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Opzet van het model	8
2.1	Algemene opzet van het model.....	8
2.2	Te beschouwen varianten (technieken).....	9
2.3	Detailering van de te beschouwen factoren	10
3	Werkwijze en uitgangspunten	13
3.1	Speciesamenstelling.....	13
3.2	Uitgangspunten kostprijsberekeningen	14
3.3	Variant A (hydrocyclonage met opstroomkolom in onderloop)	17
3.4	Variant B (hydrocyclonage met flotatie van de onderloop)	22
3.5	Variant C (hydrocyclonage met thermische immobilisatie van de bovenloop).....	24
3.6	Variant D (biologische reiniging door middel van landfarming of beluchtingsbassin, eventueel voorafgegaan door hydrocyclonage)	27
4	Resultaten.....	32
4.1	Vaststellen van relevante cellen	32
4.2	Resultaten van kostprijs- en hoeveelheidsberekeningen	32
5	Discussie/conclusies.....	35
6	Verantwoording	37

Bijlagen 1 t/m 4

1 Inleiding

In het kader van de revisie van het Handboek Bodemsaneringstechnieken moeten door de overheid beleidsmatige randvoorwaarden voor de toepassing van saneringstechnieken worden aangegeven. Inzake verwerkingstechnieken is onderscheid te maken in technische, milieuhygiënische en financiële randvoorwaarden. Ondersteuning door TNO is gevraagd voor de invulling van de financiële beleidsmatige randvoorwaarden.

De oorspronkelijke opzet van dit project was, dat door TNO een kostenschatting zou worden gemaakt van verwerkingstechnieken voor met name bij de sanering van vervuilde waterbodems vrijkomende baggerspecie, waarbij tevens ervaringscijfers zouden worden gebruikt uit in de praktijk bij de sanering van vervuilde landbodems vrijkomende grond gebruikte technieken. Naderhand is de projectdoelstelling bijgesteld (zie hieronder).

Het project is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van VROM-DGM, Directie Bodem (projectnr. 331.110). Bij de opdrachtverlening waren de volgende werkzaamheden voorzien:

1. Vaststellen van de verwerkingstechnieken en verwerkingsketens, waarvoor de kosten worden opgesteld;
2. Vaststellen van de investerings- en exploitatiekosten, die in de berekeningen worden meegenomen;
3. Inwinnen van gegevens met betrekking tot de investerings- en exploitatiekosten. Dit betreft gegevens afkomstig van leveranciers van apparatuur en/of praktijkgegevens afkomstig van grond/baggerspecieverwerkingsbedrijven;
4. Uitvoeren van de verschillende kostencalculaties.

Achtergrondinformatie

In hoofdlijnen kunnen de volgende technieken worden onderscheiden:

- **Scheidingstechnieken;** Dit zijn technieken waarbij bodemdeeltjes gescheiden worden op een zodanige wijze dat een relatief schone fractie wordt verkregen en een fractie waarin de verontreinigingen zijn geconcentreerd. In feite is er sprake van een matrix/matrix-scheiding;
- **Reinigingstechnieken;** Dit zijn technieken waarbij de verontreiniging van het bodemdeeltje gescheiden wordt door extractie of afbraak van de verontreiniging. Er is hier sprake van verontreiniging/matrix-scheiding;
- **Immobilisatietechnieken;** Immobilisatie heeft geen invloed op het verontreinigingsgehalte van de bodem, maar op de mobiliteit van de verontreiniging. Het gaat hier om de sterkte van de verontreiniging/matrix-binding (chemische binding en/of fysische opsluiting).

Verwerkingstechnieken beïnvloeden dus de kwaliteit van de grond/baggerspecie of een deel daarvan. Na verwerking gaat het materiaal naar een **eindbestemming**. Potentiële eindbestemmingen na verwerking zijn:

- **Hergebruik** van de verwerkte grond/baggerspecie als (water)bodemmateriaal. Dit is mogelijk als de milieuhygiënische kwaliteit zodanig is, dat wordt voldaan aan de voor de verschillende verontreinigende stoffen geldende streefwaarden;

Kosten verwerking baggerspecie

- **Nuttige toepassing.** Dit is het gebruik van de verwerkte grond/baggerspecie of een deel daarvan als bouwstof (categorie 1 of 2). Het verwerkte materiaal moet voldoen aan de normen in het (toekomstige) Bouwstoffenbesluit;
- **Stort.** Indien hergebruik of nuttige toepassing na reinigen, scheiden of immobiliseren niet mogelijk is, moet de baggerspecie worden gestort. Dit geldt ook voor verontreinigde deelstromen, die bij de verwerkingsprocessen vrijkomen.

Het doel van een verwerkingsproces kan zijn om (een zo groot mogelijk) deel van het materiaal geschikt te maken voor hergebruik, dan wel nuttige toepassing. Een andere mogelijke doelstelling is om het materiaal zodanig in kwaliteit te verbeteren, dat het onder normale IBC-condities kan worden gestort, of dat storten in Nederland (in plaats van in het buitenland) mogelijk wordt.

De eindbestemming **verspreiden** komt hier niet in aanmerking, omdat deze term is gereserveerd voor grond/baggerspecie, die geen verwerkingsproces heeft ondergaan. De voor verspreiden geldende voorwaarden en normen zijn in het kader van dit project dus niet relevant.

Projectdoelstelling

Door de begeleidingscommissie (samenstelling van deze commissie: zie hieronder) is vastgesteld, dat het project zich moet richten op het vaststellen van de gevoeligheid van de kosten van baggerspecieverwerking voor een aantal nader te bepalen factoren. Met name het vaststellen van de consequenties van beleidsbeslissingen is een belangrijk aspect. Overlap met de activiteiten van de POSW-werkgroep 'Kosten' en met het door de Vereniging Centrale Baggerbedrijf (CB) en de Nederlandse Vereniging van Procesmatige Grondreinigingsbedrijven (NVPG) uitgebrachte rapport¹⁾ moet worden vermeden en het project dient informatie te leveren op beleidsniveau, niet op besteks- of techniekniveau. Eén en ander heeft ertoe geleid dat er een nadere invulling van het project is opgesteld, die bij brief van 19 november 1993 door de opdrachtgever is goedgekeurd.

Indeling van het rapport

De vernieuwde opzet wordt in hoofdstuk 2 van dit rapport beschreven. Hierin worden ook de te beschouwen factoren benoemd. In hoofdstuk 3 worden de gehanteerde werkwijze en uitgangspunten nader toegelicht. De met het model verkregen resultaten zijn samengevat in hoofdstuk 4; de volledige resultaten zijn in een bijlage opgenomen. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 een aantal conclusies verwoord.

Externe adviseurs

Een belangrijke bijdrage aan het opstellen van het model is geleverd door Heidemij Advies. Bij het opstellen van de kostenraming is tevens gebruik gemaakt van ervaringen, c.q. gegevens, aangeleverd door POSW (C. van Rijt en W.M. van den Brink, kostengegevens verwerkingsmethodes baggerspecie), SCG (J.M. Gadella, kostengegevens grondreiniging), Ecotechniek (J. Bouman en J. Buis, kostengegevens immobi-

¹⁾ Scheidings- en reinigingskosten van baggerspecie',
Rapport van CB en NVPG, september 1992.

Kosten verwerking baggerspecie

lisatie), Heidemij Realisatie (H. Wolbers, praktijkgegevens), Boskalis Dolman (J.A. van der Bom, praktijkgegevens) en HWZ Milieu (B. Spruijtenburg, praktijkgegevens).

De begeleidingscommissie die dit project van adviezen heeft voorzien, was samengesteld uit de volgende personen:

Drs. T. Bakker	RIZA;
Ing. J.A. van der Bom	Boskalis Dolman B.V.;
Ir. S.H. Brunekreef	SCG (voorzitter);
Ir. J.W. Corver	Ministerie van VROM/DGM;
Ir. G.N.M. Stokman	RIZA/POSW;
Dr.ir. C.W. Versluijs	RIVM/LAE.

2 Opzet van het model

2.1 Algemene opzet van het model

De baggerspecieverwerking wordt beschouwd als een 'black box'-proces met een aantal factoren (instelvariabelen) als input, die invloed uitoefenen op de grootte van de responsvariabele(n) (bijvoorbeeld de kosten van het proces), die als output van het proces is (zijn) te beschouwen.

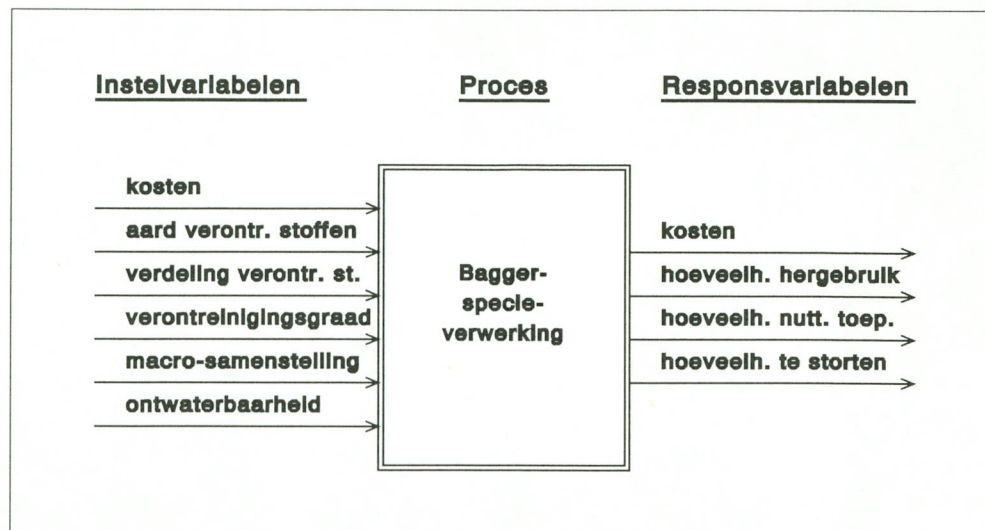
Sommige kostenposten blijken andere te overheersen, zodat het weinig zin heeft aan deze laatste veel aandacht te besteden. Stortkosten behoeven in principe niet te worden meegenomen, omdat deze met name op besteksniveau en niet op beleidsniveau van belang zijn (de hoogte van de stortkosten wordt grotendeels bepaald door politieke afwegingen en verschillen ook per regio). Anderzijds is het uiteraard van wezenlijk belang om inzicht te krijgen in de hoeveelheden materiaal die moeten worden gestort, afhankelijk van de grootte van de instelvariabelen. Derhalve worden deze hoeveelheden als extra responsvariabele (naast de kosten) beschouwd.

Als logische consequentie van deze gedachtengang worden ook de hoeveelheden materiaal die kunnen worden hergebruikt of zonder restricties mogen worden toegepast (materiaal waarin na behandeling de concentraties aan verontreinigende stoffen niet boven de streefwaarde komen), alsmede de hoeveelheden die met restricties kunnen worden toegepast (materiaal dat na behandeling binnen de normen van het (toekomstige) Bouwstoffenbesluit valt) als responsvariabelen beschouwd.

De factoren (instelvariabelen) die in de gevoeligheidsanalyse worden meegenomen, zijn:

1. De jaarlijkse hoeveelheid te behandelen specie;
2. De aard van de verontreinigende stoffen;
3. De verdeling van de verontreinigende stoffen;
4. De verontreinigingsgraad;
5. De macro-samenstelling van de specie;
6. De ontwaterbaarheid van de specie.

Deze factoren worden in paragraaf 2.3 nader uitgewerkt. In figuur 1 wordt het hierboven beschreven concept schematisch weergegeven.

Kosten verwerking baggerspecie

Figuur 1 Bagger-specieverwerking als 'black box' proces met zes instelvariabelen en vier responsvariabelen

2.2 Te beschouwen varianten (technieken)

Het model wordt uitgewerkt voor een beperkt aantal verwerkingsvarianten. Varianten worden gedefinieerd als ketens van technieken. Een variant zou bijvoorbeeld kunnen zijn:

baggeren met een grijperkraan, gevolgd door transport per schip, fractiescheiding met hydrocyclonen, biologische reiniging van de onderloop met de landfarm-techniek tot een nuttig toepasbaar produkt en storten van de bovenloop.

In dit rapport worden de varianten beperkt tot het verwerkingsdeel. De methoden baggeren en transporteren worden buiten beschouwing gelaten, omdat de vraagstelling gericht was op de kosten van baggerspecieverwerking. Als er in een concreet geval een keuze moet worden gemaakt uit een aantal mogelijke varianten, zullen de totale kosten van de varianten moeten worden berekend. Dan zullen de onderdelen baggeren en transporteren uiteraard wel moeten worden meegenomen. Daarbij zal onder andere de schaalgrootte een wezenlijke rol spelen. Ook zal er rekening mee moeten worden gehouden, dat de wijze van baggeren invloed kan hebben op de samenstelling van de te verwerken specie.

Er is voor gekozen om in dit project een viertal varianten uit te kiezen, waarvoor het model verder wordt uitgewerkt. De geselecteerde varianten zijn:

- | | |
|-----------|---|
| Variant A | hydrocyclonage; |
| | – bovenloop ontwateren en storten; |
| | – onderloop wassen met een klasseerinstallatie (opstroomkolom), produkt nuttig toepassen; |
| Variant B | hydrocyclonage; |
| | – bovenloop ontwateren en storten; |
| | – onderloop wassen door middel van flotatie, produkt nuttig toepassen; |

- | | |
|-----------|--|
| Variant C | hydrocyclonage; <ul style="list-style-type: none"> – bovenloop ontwateren, drogen, mengen met onderloop/zand, immobiliseren door middel van sinteren, produkt nuttig toepassen; – onderloop wassen met klasseerinstallatie (opstroomkolom), deels gebruiken om te mengen met bovenloop, rest nuttig toepassen; |
| Variant D | <ul style="list-style-type: none"> – in geval van zandige specie: biologische reiniging door middel van landfarming, produkt nuttig toepassen; – in geval van slibrijke specie: biologische reiniging door middel van beluchtingsbassin, produkt nuttig toepassen; – in geval van matig zandige specie: hydrocyclonage; <ul style="list-style-type: none"> – bovenloop biologisch reinigen (beluchtingsbassin) en storten of nuttig toepassen; – onderloop biologisch reinigen (landfarm), nuttig toepassen. |
- Voor definities van zandige en slibrijke species: zie hoofdstuk 3.

2.3 Detaillering van de te beschouwen factoren

De niveaus waartussen de zes instelvariabelen worden gevarieerd, zijn weergegeven in tabel 1. De eerstgenoemde factor (hoeveelheid te reinigen specie) heeft te maken met het beleid; de overige met de micro- en macro-samenstelling van de specie. De macro-samenstelling wordt bepaald door parameters, zoals droge-stofgehalte, organische-stofgehalte en zandgehalte; de micro-samenstelling wordt bepaald door het gehalte aan verontreinigende stoffen en door de wijze waarop deze stoffen in het bodemmateriaal vóórkomen.

Er zou nog een tweede beleidsfactor kunnen worden geselecteerd: de schaalgrootte van de verwerking (centraal of decentraal). Dit is echter niet gedaan, omdat deze factor sterk gecorreleerd is aan de hoeveelheid te behandelen specie (in relatie tot de capaciteit van de installaties). De installaties hebben met name bij variant A en B een bepaalde optimale capaciteit, onder meer tengevolge van de beschikbaarheid van 'standaard' apparatuur. Dientengevolge moet een aanbod dat groter is dan de optimale capaciteit worden opgevangen door het parallel schakelen van meerdere installaties.

Het in dit project opnemen van beleidsfactoren zoals de schaalgrootte is overigens ook dubieus, aangezien er geen rekening wordt gehouden met werkelijk aanwezige hoeveelheden specie aan de aanbodzijde (zie ook hoofdstuk 5). Daarnaast kan worden opgemerkt, dat het al dan niet centraal verwerken vooral gevolgen heeft voor de berekening van de transportkosten, die in dit project eveneens buiten beschouwing blijven.

Kosten verwerking baggerspecie

Tabel 1 Te variëren factoren en hun niveaus

Factor	Aantal niveaus	Benoeming van de niveaus
1 Hoeveelheid te behandelen specie	3	– 0,5 miljoen ton d.s./jaar – 2 miljoen ton d.s./jaar – 10 miljoen ton d.s./jaar
2 Aard van de verontreinigende stoffen	3	– biologisch afbreekbare stoffen (bijvoorbeeld PAK, olie) – zware metalen – mix van beide
3 Verdeling van de verontreinigende stoffen	3	– grove fractie schoon (zonder restrictie toepasbaar) – grove fractie nuttig toepasbaar (cat. 1 en 2 Bouwstoffenbesluit) – grove fractie verontreinigd
4 Verontreinigingsgraad	2	– licht verontreinigd – zwaar verontreinigd
5 Macro-samenstelling van de specie	3	– slibrijk – matig zandig – zandig
6 Ontwaterbaarheid van de specie	3	– goed – matig – slecht
Totaal aantal 'cellen'	486	

Wat betreft de verontreinigingsgraad wordt er onderscheid gemaakt tussen licht en zwaar verontreinigde baggerspecie. De grens zou bijvoorbeeld kunnen worden gelegd bij een concentratieniveau voor de verschillende verontreinigingscomponenten, overeenkomend met een gehalte van 10 maal de streefwaarde voor metalen, cyanide en minerale olie en op 100 maal de streefwaarde voor de overige verontreinigingen. Dit sluit aan bij de door het SCG voor landbodems gehanteerde werkwijze. Het hier geschetste beeld heeft betrekking op de situatie tijdens de uitvoering van het project (vóór wijziging van de Wet Bodembescherming).

De factor ontwaterbaarheid is ingebracht, omdat vooral bij slibrijke specie de capaciteit van een fractiescheidingsinstallatie wordt bepaald door de slibontwatering. Deze is sterk afhankelijk van de ontwateringseigenschappen, die grotendeels worden bepaald door de bodemstructuur en de olieconcentratie.

Naast de hiervóór vermelde factoren dient ook met mogelijke factoren op variant- of techniekniveau rekening te worden gehouden, die deels interactie vertonen met de in tabel 1 genoemde factoren. Dit wordt als volgt verduidelijkt.

De te kiezen variant heeft te maken met de micro- en macro-samenstelling van de specie. Voor variant D is het duidelijk dat deze alleen kan worden toegepast op species met organische verontreinigingen (vergelijk de tweede factor in tabel 1). Variant B is alleen zinvol, indien er in de onderloop nog verontreinigende stoffen aanwezig zijn

Kosten verwerking baggerspecie

(vergelijk de derde factor in tabel 1). Het is duidelijk, dat er voor een aantal combinaties van factoren geen geschikte variant voorhanden is, zodat het niet zinvol is de betreffende 'cel' in te vullen. In hoofdstuk 4 is aangegeven welke cellen als niet relevant worden beschouwd en op basis van welke criteria dit is gebeurd.

3 Werkwijze en uitgangspunten

De berekeningen zijn uitgevoerd door enerzijds gebruik te maken van de praktijkervaringen die tot nu toe zijn opgedaan en anderzijds door middel van conventionele kostprijsberekeningen. De in dit hoofdstuk genoemde kosten zijn weergegeven per installatie. In hoofdstuk 4 wordt een samenvattende tabel gepresenteerd met een overzicht van de resulterende bedragen. Ook worden hier de kosten per ton droge stof van de behandelde specie gegeven.

In paragraaf 3.1 wordt een aantal uitgangspunten betreffende de speciesamenstelling gegeven. In paragraaf 3.2 wordt een overzicht gegeven van de gehanteerde uitgangspunten. In een aantal gevallen worden de uitgangspunten per variant nader uitgewerkt (paragraaf 3.3 tot en met 3.6). Bij deze uitwerking wordt ook ingegaan op de capaciteit van de beschouwde installaties.

Voor alle getalsmatige invullingen geldt, dat wijzigingen hierin eenvoudig zijn door te rekenen, aangezien het model met behulp van een Lotus/Symphony-spreadsheet is gebouwd.

Een zeer wezenlijk uitgangspunt is een continue aanvoer van baggerspecie, zodat er geen stilstand van de installaties optreedt, anders dan door technische oorzaken (storingen, onderhoud, en dergelijke).

De kosten die gemoeid zijn met baggeren, transporteren en met het realiseren van de eindbestemming (hergebruik, nuttige toepassing met of zonder IBC-maatregelen, storten), worden niet meegenomen in de berekeningen. Ook eventuele opbrengsten van nuttig toepasbare producten worden buiten beschouwing gelaten.

3.1 Speciesamenstelling

Waar in het vervolg over specie wordt gesproken, wordt de volledige (niet in fracties gescheiden) baggerspecie bedoeld; met slib wordt de fijne fractie (minerale delen $< 63 \mu\text{m}$) bedoeld en met zand de grove fractie (minerale delen $> 63 \mu\text{m}$). Er wordt in dit rapport aangesloten bij de terminologie die is gebruikt in het Milieu-effectrapport *Berging baggerspecie* (1992; aanvulling 1993). Een specie wordt slibrijk genoemd, als het zandgehalte minder dan 40% bedraagt; matig zandige specie heeft een zandgehalte van 40 tot 70%; zandige specie heeft een zandgehalte van meer dan 70%. In aansluiting op de in het rapport van CB en NVP (zie pag. 6) gehanteerde indeling wordt het gemiddelde gehalte aan minerale delen $> 63 \mu\text{m}$ voor slibrijke, matig zandige en zandige specie gesteld op respectievelijk 30, 50 en 80%.

Voor het organische-stofgehalte wordt voor de drie genoemde species (slibrijk, matig zandig, zandig) achtereenvolgens 20, 10 en 5% aangenomen; voor het droge-stofgehalte 39, 63 en 74%. De aannames betreffende de speciesamenstelling zijn in tabel 2 samengevat.

Kosten verwerking baggerspecie

De dichtheid van een specie wordt met behulp van de volgende formule berekend uit onder meer het droge-stofgehalte en het organische-stofgehalte. Deze formule is alleen geldig, indien alle poriën tussen de deeltjes volledig zijn gevuld met water.

$$\rho = \frac{\rho_w \cdot \rho_h \cdot \rho_m}{\rho_h \cdot \rho_m \cdot \frac{(100 - d)}{100} + \rho_w \cdot \frac{d}{100} \cdot \left[\rho_m \cdot \frac{h}{100} + \rho_h \cdot \frac{(100 - h)}{100} \right]} \quad (1)$$

met:

- ρ = dichtheid specie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- ρ_w = dichtheid water ($= 998 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- ρ_h = dichtheid organische stof ($= 1350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- ρ_m = dichtheid minerale delen ($= 2670 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- d = droge-stofgehalte (% m/m)
- h = organische-stofgehalte (% van droge stof)

Tabel 2 Uitgangspunten samenstelling speciesoorten

Samenstelling per type specie	Slibrijk	Matig zandig	Zandig
Droge-stofgehalte (massapercentage)	39%	63%	74%
Gehalte minerale delen > 63 μm (percentage betrokken op droog gewicht)	30%	50%	80%
Organische-stofgehalte (percentage betrokken op droog gewicht)	20%	10%	5%
Dichtheid (kg/m^3)	1273	1588	1814

3.2 Uitgangspunten kostprijsberekeningen

Kapitaalslasten

De afschrijvingstermijn voor apparatuur (inclusief plankosten) bedraagt 10 jaar; voor terreininrichting, hallen en beluchtingsbassin (variant D) 20 jaar. Voor de restwaarde van apparatuur is aanvankelijk gerekend met een bedrag van 10% van de investering. Naderhand is op aangeven van POSW de restwaarde op 0 gesteld. Voor het rentepercentage is 8% aangehouden. De kosten zijn gebaseerd op prijspeil 1993.

De terreinkosten zijn voor de verschillende varianten op verschillende wijze berekend. Voor variant A en B is gerekend met aankoop van de grond (kosten $f 100/\text{m}^2$). Voor variant C is gerekend met erfpacht (kosten $f 13/\text{m}^2, \text{jr}$). Voor variant D is opnieuw met aankoop van de grond gerekend, nu echter met lagere kosten ($f 50/\text{m}^2$) dan voor variant A en B. Het argument hiervoor is, dat er bij variant A en B een hoogwaardig industrieterrein met havenfaciliteiten is vereist, terwijl dat voor variant D niet nodig is.

Kosten verwerking baggerspecie

De kapitaalslasten zijn op de volgende (gesimplificeerde) wijze berekend:

$$KL = \frac{INV \cdot \left(1 - \frac{RW}{100}\right)}{AT} + \frac{INV}{2} \cdot RV \quad (2)$$

met:

KL = kapitaalslasten (kf/jr)
 INV = investeringskosten (kf)
 RW = restwaarde (percentage van INV)
 AT = afschrijvingstermijn (jr)
 RV = rentevoet (%)

Voor de inrichting van het terrein wordt f 150 per m² gerekend. Met een benodigd grondoppervlak van 15.000, 15.000, 60.000 en 110.000 m² voor de varianten A, B, C en D komen de kapitaalslasten voor het terrein uit op respectievelijk 310, 310, en 3130 kf per jaar. Voor variant D liggen de kapitaalslasten tussen 985 en 1885 kf per jaar, afhankelijk van de mate waarin de investeringskosten voor de landfarm-hal worden doorberekend (zie ook pag. 22).

Loonkosten

Er wordt bij de varianten A, B en D uitgegaan van een drieploegensysteem met 24 draaiuren per dag, 5 dagen per week, 46 weken per jaar (in totaal dus 5520 draaiuren per jaar). Bij variant C is het uitgangspunt een vijfploegensysteem met 24 draaiuren per dag, 7 dagen per week, 49 weken per jaar (in totaal dus 8232 draaiuren per jaar; hierin zijn nog niet de bedrijfscoëfficiënten verdisconteerd).

De benodigde personeelssterkte bedraagt respectievelijk 17, 19, 87 en 12,5 voor de varianten A, B, C en D. De kosten zijn geschat op respectievelijk 1833, 2055, 9800 en 1383 kf per jaar.

Materieelkosten

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.3 tot en met 3.6.

Reparatie en onderhoud

De post reparatie/onderhoud wordt gesteld op 10% van de investeringskosten voor de installatie.

Verzekeringen

De post verzekeringen wordt gesteld op 0,85% van de investeringskosten.

Kosten verwerking baggerspecie

Energieverbruik, toeslagstoffen

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.3 tot en met 3.6.

Algemene kosten, winst/risico

De algemene kosten worden gesteld op 7,5%. Over de totale kosten (inclusief algemene kosten) wordt een winst/risico-toeslag van 10% berekend.

3.3 Variant A (hydrocyclonage met opstroomkolom in onderloop)

Capaciteitsgegevens

Een capaciteit van ca. 25 ton droge stof per uur (100.000 ton d.s. per jaar) waarbij voor de ontwatering twee parallel geschakelde zeefbandpersen worden ingezet, is volgens informatie van enkele verwerkingsbedrijven te beschouwen als optimaal voor deze variant. Hierbij is een afweging gemaakt tussen enerzijds investeringskosten en anderzijds flexibiliteit.

Het eerste niveau van de eerste factor uit paragraaf 2.3 (hoeveelheid te verwerken specie: 0,5 miljoen ton d.s. per jaar) komt overeen met vijf installaties met elk een capaciteit van ca. 100.000 ton d.s./jr. De vijf installaties zijn verspreid over vijf lokaties. Het derde niveau van de eerste factor uit paragraaf 2.3 (hoeveelheid te verwerken specie: 10 miljoen ton d.s. per jaar) komt overeen met 100 installaties met elk een capaciteit van ca. 100.000 ton d.s./jr. De 100 installaties zijn verspreid over 25 lokaties, met op elke lokatie vier units.

Het tweede niveau van de eerste factor uit paragraaf 2.3 (hoeveelheid te verwerken specie: 2 miljoen ton d.s. per jaar) komt overeen met 20 installaties met elk een capaciteit van ca. 100.000 ton d.s./jr. De 20 installaties zijn verspreid over vier lokaties met vier units en de overige (vier) lokaties met één unit.

Bovengenoemde aantallen installaties en lokaties kunnen enigszins variëren, afhankelijk van de werkelijke capaciteit van de installaties, die op zijn beurt weer afhankelijk is van de speciesamenstelling en de ontwaterbaarheid (vijfde en zesde factor uit paragraaf 2.3). In tabel 3 is de werkelijke capaciteit van de (enkelvoudige) installatie met een nominale capaciteit van 25 ton droge stof per uur weergegeven. Voor slibrijke specie blijkt de ontwateringsstap bepalend te zijn. Bij de berekening van de totale capaciteit is als aanname gesteld, dat de capaciteit van de ontwateringsstap van de bovenloop (op basis van twee zeefbandpersen parallel) 6, 11 en 16 ton droge stof per uur bedraagt voor respectievelijk slecht, matig en goed ontwaterbare specie.

Tabel 3 Werkelijke capaciteit variant A en B (1 installatie) in ton d.s. invoer/uur

	Macro-samenstelling		
	Slibrijk	Matig zandig	Zandig
Goed ontwaterbare bovenloop	20,4	25,0	25,0
Matig ontwaterbare bovenloop	14,0	18,1	25,0
Slecht ontwaterbare bovenloop	7,6	9,9	19,2

Procesgegevens en samenstelling produktstromen

De waarden voor de $E_{d.s.}$ (percentage droge stof dat in de onderloop terecht komt) worden in tabel 4 gegeven. Onderscheid wordt gemaakt tussen de $E_{d.s.}$ van drie fracties: zand (minerale delen $> 63 \mu m$), slib (minerale delen $< 63 \mu m$) en organische stof.

Kosten verwerking baggerspecie

Deze waarden zijn geschat aan de hand van praktijkgegevens met een meertrapscyclonage-installatie. Het installeren van één of twee extra cyclonagetrappen heeft een verwaarloosbare verhoging van de kosten tot gevolg. Ook is als uitgangspunt genomen dat de onderloop wordt nabehandeld middels een opstroomkolom. Er wordt geen rekening gehouden met het afzeven van een grove (organische) fractie vóór de hydrocyclonage. Met deze aannames wordt de in tabel 5 gegeven samenstelling van onderloop en bovenloop berekend.

Het droge-stofgehalte van de (ontwaterde) onderloop is gesteld op 75, 80 en 85% voor respectievelijk slibrijke, matig zandige en zandige specie. Voor de (ontwaterde) bovenloop zijn deze percentages respectievelijk 30, 40 en 50%. Bij droge-stofgehalten in de onderloop groter dan ca. 80% en in de bovenloop groter dan ca. 37% is een deel van de poriën gevuld met lucht en worden met formule (1) op pagina 14 te hoge dichtheden gevonden. De dichtheid is in het geval van (gedeeltelijk) met lucht gevulde poriën berekend met formule (2). Hierbij is de porositeit voor de ontwaterde onderloop gesteld op 0,36, 0,39 en 0,42 (voor respectievelijk slibrijke, matig zandige en zandige specie) en voor de ontwaterde bovenloop op 0,8.

$$\rho = \frac{100 \cdot (1 - P) \cdot \rho_d}{d} \quad (3)$$

met:

- P = porositeit (vol. fractie)
 ρ = dichtheid specie (kg.m^{-3})
 ρ_d = dichtheid droge stof (kg.m^{-3})
 d = droge-stofgehalte (% m/m)

en

$$\rho_d = \frac{100}{\frac{h}{\rho_h} + \frac{(100 - h)}{\rho_m}} \quad (4)$$

met:

- h = organische-stofgehalte (% van droge stof)
 ρ_h = dichtheid organische stof (= 1350 kg.m^{-3})
 ρ_m = dichtheid minerale delen (= 2670 kg.m^{-3})

Tabel 4 Percentage droge stof in de onderloop ($E_{d.s.}$) voor variant A

	Slibrijk	Matig zandig	Zandig
$E_{d.s.}$ slib (%)	1,5	1	0,5
$E_{d.s.}$ zand (%)	80	85	90
$E_{d.s.}$ org. stof (%)	7	6	5

Kosten verwerking baggerspecie

Tabel 5 Samenstelling bovenloop en onderloop voor variant A

	Slibrijk	Matig zandig	Zandig
Bovenloop (ontwaterd)			
droge-stofgehalte (%)	30	40	50
dichtheid (kg/m ³)	1191	1159	930
fractie d.s. (1-Eds) (%)	79	61	31
slibgehalte (% tot.)	70	73	60
zandgehalte (% tot.)	6	11	24
org.stofgehalte (%)	24	15	15
Onderloop (ontwaterd)			
droge-stofgehalte (%)	75	80	85
dichtheid (kg/m ³)	1821	1982	1815
fractie d.s. (Eds) (%)	21	39	69
slibgehalte (% tot.)	4	1	0
zandgehalte (% tot.)	90	97	99
org.stofgehalte (%)	7	2	0

De bedrijfscoëfficiënt is gesteld op 0,75. Het aantal effectieve draaiuren komt daarmee 0,75 maal 5520 = 4140 per jaar.

Produkthoeveelheden

Als de grove fractie schoon, c.q. nuttig toepasbaar is (3^e factor in paragraaf 2.3), wordt de totale hoeveelheid geproduceerde onderloop als herbruikbaar, c.q. nuttig toepasbaar beschouwd. Van de totale hoeveelheid ontwaterde bovenloop wordt verondersteld dat deze moet worden gestort.

Kostengegevens

De investeringen voor de installatie bedragen 5000 kf. De plankosten voor engineering worden geschat op 200 kf; de plankosten voor mer en vergunningen op 300 kf. De kapitaalslasten voor de installatie komen op 770 kf/jr.

Met de aankoop van de grond is 1500 kf gemoeid; met de inrichting van het terrein 2250 kf. De kosten voor kantoor en weegbrug bedragen respectievelijk 200 en 100 kf. De totale investeringen in het terrein komen daarmee op 4050 kf; inclusief onderhoudskosten (20 kf/jr) bedragen de kapitaalslasten voor het terrein 310 kf/jr.

Voor één installatie bedraagt het totale ruimtebeslag 15.000 m²; voor vier installaties op één lokatie 40.750 m². Zonder verbetering van de efficiency zou het ruimtebeslag voor vier installaties 60.000 m² bedragen. De besparing wordt vooral geleverd door de opslagcapaciteit (specie-buffervoorraad voor twee weken 10.000 m²; 30.000 m² voor vier installaties. Daarnaast wordt besparing gerealiseerd voor de posten kanto-

Kosten verwerking baggerspecie

ren, weegbrug, verharding, diversen en loodsen. In tabel 6 wordt de opbouw gespecificeerd.

Tabel 6 Ruimtebeslag (m²) voor 1 en 4 installaties per lokatie

Onderdeel	1 installatie	4 installaties
Scheidingsinstallatie	300	1200
Waterzuivering	1000	4000
Kantoren, weegbrug	500	750
Verharding, diversen ¹⁾	2000	3000
Loodsen	1200	1800
Opslag ²⁾	10000	30000
Totaal ruimtebeslag	15000	40750

¹⁾ Inclusief groenvoorziening, hekwerk, etc.

²⁾ Gebaseerd op buffervoorraad van twee weken.

De benodigde personeelssterkte wordt bij één installatie geschat op 17; bij vier installaties op één lokatie is dit 59,5. De besparing wordt hier met name geleverd door de dagdienst. De sterkte van de ploegendienst is (vrijwel) recht evenredig met het aantal installaties. De personeelskosten worden geschat op 1833 kf per jaar voor één installatie en op 6395 kf per jaar voor vier installaties op één lokatie.

De materieelkosten (overslagkraan en shovel/vorkheftruck) worden geraamd op f 135, respectievelijk f 75 per uur. Er wordt aangenomen dat deze apparatuur gedurende 25% van het aantal bedrijfsuren operationeel is. De totale materieelkosten bedragen 217 kf per jaar.

Het opgenomen elektrisch vermogen bedraagt 350 kW per installatie. Met een gasolieverbruik van 0,2 l/kWh en een gasolieprijs van f 0,70 per liter komen de energiekosten daarmee op 203 kf/jr per installatie.

Voor een installatie van 25 ton droge stof per uur (nominaal) kunnen de kosten voor ontwateringschemicaliën worden benaderd door te rekenen met ca. f 0,20 per procent slibgehalte in de specie. Daarnaast zijn er nog andere toeslagstoffen nodig voor onder andere de waterzuivering en de slibconditionering. Deze hiervoor geschatte kosten zijn weergegeven in tabel 7 (afhankelijk van de aard en concentratie van de verontreinigingen). De totale kosten voor toeslagstoffen bedragen met deze schattingen ca. 1000 à 1400 kf per jaar per installatie. Analysekosten zijn niet meegenomen in de berekeningen.

*Kosten verwerking baggerspecie**Tabel 7 Kosten overige toeslagstoffen (f/ton d.s.)*

Aard van de verontreinigingen	Verontreinigingsgraad	
	Licht verontr. specie	Zwaar verontr. specie
Biol. afbreekbare stoffen	1	2,5
Zware metalen	2,5	5
Mix van beide	2,5	5

3.4 Variant B (hydrocyclonage met flotatie van de onderloop)

Capaciteitsgegevens

Deze zijn identiek aan variant A (paragraaf 3.3).

Procesgegevens en samenstelling produktstromen

Tenzij anders vermeld, zijn ook hiervoor dezelfde uitgangspunten als bij variant A gehanteerd. De waarden voor $E_{d.s.}$ worden in tabel 8 gegeven. Ten opzichte van de waarden in tabel 4 (variant A) is een aantal wijzigingen aangebracht, met als achterliggende gedachte, dat de nabehandeling hier intensiever is dan bij variant A. De samenstelling van de bovenloop en de onderloop wordt weergegeven in tabel 9.

Tabel 8 Percentage droge stof in de onderloop ($E_{d.s.}$) voor variant B

	Slibrijk	Matig zandig	Zandig
$E_{d.s.}$ slib (%)	1,5	1	0,5
$E_{d.s.}$ zand (%)	80	85	90
$E_{d.s.}$ org. stof (%)	5	4	3

Tabel 9 Samenstelling bovenloop en onderloop voor variant B

	Slibrijk	Matig zandig	Zandig
Bovenloop (ontwaterd)			
droge-stofgehalte (%)	30	40	50
dichtheid (kg/m ³)	1190	1157	928
fractie d.s. (1-Eds) (%)	79	61	31
slibgehalte (% tot.)	70	73	60
zandgehalte (% tot.)	6	11	24
org.stofgehalte (%)	24	16	15
Onderloop (ontwaterd)			
droge-stofgehalte (%)	75	80	85
dichtheid (kg/m ³)	1837	1988	1818
fractie d.s. (Eds) (%)	21	39	69
slibgehalte (% tot.)	4	1	0
zandgehalte (% tot.)	91	98	100
org.stofgehalte (%)	5	1	0

*Kosten verwerking baggerspecie**Produkthoeveelheden*

Hiervoor geldt hetzelfde als bij variant A (paragraaf 3.3).

Kostengegevens

De investeringen voor de installatie bedragen 8200 kf. De plankosten zijn even hoog ingeschat als voor variant A. De kapitaalslasten voor de installatie komen op 1218 kf/jr. Het ruimtebeslag en de kapitaalslasten verband houdend met het terrein zijn identiek aan variant A genomen.

De benodigde personeelssterkte wordt bij één installatie geschat op 19; bij vier installaties op één lokatie is dit 64,5. De personeelskosten worden geschat op 2055 kf per jaar voor één installatie en op 7010 kf per jaar voor vier installaties op één lokatie.

De materieelkosten zijn gelijk aan die bij variant A.

Het opgenomen elektrisch vermogen bedraagt 700 kW. De energiekosten komen met dezelfde aannames als voor variant A op 406 kf per jaar.

Wat betreft de toeslagstoffen moet er in vergelijking tot variant A nu rekening worden gehouden met extra kosten voor flotatievlokmiddelen. De hiervoor ingeschatte kosten worden in tabel 10 weergegeven. De totale kosten voor toeslagstoffen bedragen ca. 1100 à 1800 kf per jaar per installatie.

Tabel 10 Kosten flotatievlokmiddelen en overige toeslagstoffen (f/ton d.s.)

Aard van de verontreinigingen	Verontreinigingsgraad	
	Licht verontr. specie	Zwaar verontr. specie
Biol. afbreekbare stoffen	2	5
Zware metalen	5	10
Mix van beide	5	10

3.5 Variant C (hydrocyclonage met thermische immobilisatie van de bovenloop)

Capaciteits- en procesgegevens

Er wordt hier geen onderscheid gemaakt tussen verschillende aantallen installaties per lokatie. Uitgangspunt is een installatie die 160.000 ton produkt (de gesinterde bovenloop) per jaar (21,5 ton per uur in 7.450 draaiuren) levert. Aan de bovenloop wordt een hoeveelheid zand toegevoegd, zodanig dat de Al/Si-verhouding in het produkt binnen zekere grenzen valt. Het percentage zand in het produkt bedraagt ca. 38,7%; het percentage slib ca. 61,3%. Daarnaast wordt er nog een (kleine) hoeveelheid toeslagstoffen toegevoegd. De capaciteit van de voorbewerking (hydrocyclonage + ontwatering) wordt geschat op ca. 45 ton d.s. per uur voor 'standaard' klasse 4-specie (30% droge stof, fractie < 63 µm 48,4%). Voor deze specie wordt de over-all capaciteit bepaald door de thermische verwerkingscapaciteit: 15 ton d.s. slib (minerale fractie < 63 µm) per uur.

De slibverwerkingscapaciteit (15 ton d.s./uur) wordt als basis genomen voor de capaciteitsberekeningen. Voor slecht ontwaterbare species is het mogelijk dat de voorbewerking (hydrocyclonage plus ontwatering) capaciteitsbepalend wordt. Er wordt echter vanuit gegaan, dat dit of met een strategische voorraad kan worden opgevangen, of dat er een extra voorbewerkingsstraat wordt ingezet. De voorbehandelingskosten worden daarmee weliswaar verhoogd, maar de thermische verwerking blijft bepalend voor de capaciteit.

Voor zandige specie wordt de capaciteit dan berekend op 78 ton d.s. specie per uur. Er komt dan een grote hoeveelheid 'surplus' zand (onderloop) vrij, doordat slechts een klein deel van de onderloop wordt gebruikt voor bijmenging. Voor matig zandige specie is de capaciteit 33 ton d.s. per uur. Ook dan is er sprake van een aanzienlijke hoeveelheid surplus zand. Voor slibrijke specie is de capaciteit 26 ton d.s. per uur. Hierbij is er een tekort aan zand. Er wordt opnieuw vanuit gegaan, dat dit tekort met de strategische opslag kan worden opgevangen.

De bedrijfscoëfficiënt is gesteld op 0,905. Het aantal effectieve draaiuren komt daarmee 0,905 maal 8.232 = 7.450 per jaar.

Produkthoeveelheden

De totale hoeveelheid geïmmobiliseerde produkt wordt als nuttig toepasbaar beschouwd. Hetzelfde geldt voor het surplus zand (onderloop). Behalve het geïmmobiliseerde produkt en het surplus zand komt er nog een hoeveelheid rookgasreinigingsresidu vrij, die op de C2-deponie moet worden gestort. Deze hoeveelheid wordt geschat op 0,39% van de totale hoeveelheid droge stof in de specie. Voor de volumeberekeningen is uitgegaan van een dichtheid van 2.150 kg/m³ voor het geïmmobiliseerde produkt en 1400 kg/m³ voor het rookgasreinigingsresidu.

*Kosten verwerking baggerspecie**Kostengegevens*

De investeringen voor de installatie bedragen 99.000 kf. De plankosten voor engineering worden geschat op 400 kf; de plankosten voor mer en vergunningen op 600 kf. De kapitaalslasten voor de installatie komen op 14.000 kf/jr.

De investeringen in het terrein worden geraamd op 25.000 kf, opgebouwd uit 22.000 kf voor kantoor, gebouwen, weegbrug, e.d. en 3.000 kf voor de inrichting van het terrein (een derde deel van het totaal oppervlak van 60.000 m²). Inclusief erfpacht (800 kf/jr) en onderhoud (80 kf/jr) komen de kapitaalslasten voor het terrein op 3.130 kf/jr.

Om de kosten te berekenen voor de gevraagde capaciteiten (0,5, 2,0 en 10,0 miljoen ton d.s./jr) is aangenomen dat voor de laagste van deze drie capaciteiten (0,5 miljoen ton d.s./jr) de volgende formule geldt, waarin de indices (1, 2) de te onderscheiden situaties aanduiden:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{k_2 \cdot Q_2}{k_1 \cdot Q_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{0,75} \quad (5)$$

$$\text{dus } k_2 = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^{0,25} \cdot k_1$$

met:

K = som van kapitaalslasten en personeelskosten (hfl/jr)

k = kosten per eenheid produkt (hfl/kg)

Q = produktiecapaciteit (kg/jr)

De index 1 slaat op de hierboven beschreven capaciteit (uitgaande van 160.000 ton produkt per jaar). De index 2 slaat op de capaciteit van 0,5 miljoen ton d.s. specie per jaar (ca. 500.000 ton produkt per jaar, voor matig zandige specie). Voor de hogere capaciteiten (2 en 10 miljoen ton d.s. per jaar) wordt aangenomen, dat er geen verdere verlaging van de kosten (in hfl per ton produkt) kan worden gerealiseerd.

De benodigde personeelssterkte wordt geschat op 87 voor de hierboven beschreven installatie met een capaciteit van 160.000 ton produkt per jaar); de personeelskosten komen daarmee op ca. 9.800 kf per jaar.

De materieelkosten (overslagkraan en shovel/vorkheftruck) worden geraamd op f 135, respectievelijk f 75 per uur. Er wordt aangenomen dat deze apparatuur gedurende 65% van het aantal bedrijfsuren operationeel is. De totale materieelkosten bedragen 1.017 kf per jaar.

Het opgenomen elektrisch vermogen bedraagt 2.635 kW voor de beschreven installatie. Met een elektriciteitsstarief van f 0,09 per kWh en een aansluittarief van f 255 per kW komen de elektrische-energiekosten op 2.439 kf/jr. Het gasverbruik wordt geraamd op 2.520 m³/uur; met een tarief van f 0,18 per m³ komen de gasverbruikskosten op 3.379 kf/jr. De totale energiekosten zijn dus 5.818 kf/jr. De in deze alinea genoemde kosten zijn exclusief de energiekosten die met een eventuele extra benodig-

Kosten verwerking baggerspecie

de voorbehandelingscapaciteit (zie onder Capaciteits- en procesgegevens) zijn gemeoid.

De totale kosten voor toeslagstoffen bedragen voor matig zandige specie 4.513 kf per jaar. Deze komen hoofdzakelijk op rekening van vlokmiddelen voor de ontwatering (3.223 kf); de overige kosten voor toeslagstoffen worden veroorzaakt door onder andere chemicaliën voor de rookgasreiniging, methanol en water. Behalve de post toeslagstoffen wordt er nog rekening gehouden met 'overige produktiekosten' (in totaal 1.571 kf per jaar voor matig zandige specie). Deze worden onderverdeeld in emissiemetingen (200 kf/jr), lozingskosten AWZI-water (450 kf/jr) en stortkosten rookgasreinigingsresidu (f 1475 per ton; totaal 921 kf/jr).

3.6 Variant D (biologische reiniging door middel van landfarming of beluchtingsbassin, eventueel voorafgegaan door hydrocyclonage)

Capaciteits- en procesgegevens

Alleen matig zandige specie wordt gehydrocycloneerd (met daaropvolgende biologische reiniging van onderloop en bovenloop). Zandige specie wordt zonder fractiescheiding met de landfarm-techniek behandeld; slibrijke specie zonder fractiescheiding in het beluchtingsbassin. Het specie-aanbod wordt verondersteld afgestemd te zijn op de verwerkingscapaciteit. Dit betekent dat voor zandige specie de kosten voor de landfarm-behandeling geheel aan de ingevoerde specie worden toegerekend. Hetzelfde geldt voor de behandeling in het beluchtingsbassin in het geval van slibrijke specie.

Evenals bij variant C wordt er hier geen onderscheid gemaakt tussen verschillende aantallen installaties per lokatie. Dit betekent dat de kosten per ton behandelde specie niet afhankelijk zijn van de gevraagde capaciteit (0,5, 2 en 10 miljoen ton d.s./jaar). Voor de scheidingsinstallatie wordt uitgegaan van dezelfde installatie (ca. 100.000 ton d.s. per jaar) als bij variant A.

De landfarm-behandeling vindt plaats in een overdekte hal met een effectief vloeroppervlak van 14.000 m² (zie bijlage 1 voor een impressie). De efficiëntie van het vloergebruik bedraagt 80%. Het bruto vloeroppervlak is dan ca. 17.500 m². De hoogte van het landfarm-bed bedraagt 0,75 m. In het geval van licht verontreinigde specie kunnen er 4 batches per jaar worden behandeld; voor zwaar verontreinigde specie 2 batches per jaar.

In het geval van matig zandige specie wordt het deel van de landfarm-hal, dat niet wordt gebruikt voor de behandeling van de onderloop, ingezet voor de behandeling van niet gescheiden specie. De kosten van de hal worden voor de matig zandige specie alleen doorberekend voor het deel dat wordt gebruikt voor de behandeling van de onderloop.

Het beluchtingsbassin is niet in een overdekte hal gesitueerd, omdat dit een verhoudingsgewijs te groot deel van het beschikbare vloeroppervlak zou vragen. De inhoud van het bassin is gesteld op 100.000 m³; bij een hoogte van 2 m wordt het vloeroppervlak dan 50.000 m². Het bruto ruimtebeslag wordt dan (bij een efficiëntie van het vloergebruik van 70%) ca. 71.400 m².

Bij het beluchtingsbassin vindt de ontwatering van het produkt plaats door middel van natuurlijke ontwatering in slibvelden (niet met zeefbandpersen).

Het aantal jaarlijks in het beluchtingsbassin te behandelen batches bedraagt twee voor licht verontreinigde specie en één voor zwaar verontreinigde specie. Voor de specie in het bassin is een droge-stofgehalte van 15% aangenomen. In het geval van matig zandige specie is de capaciteit van het beluchtingsbassin bepalend voor de totale capaciteit van de installatie.

Kosten verwerking baggerspecie

In tabel 11 wordt een overzicht gegeven van de samenstelling van de invoerstromen voor de onderscheiden situaties.

Tabel 11 Samenstelling invoermaterialen variant D

	Droge-stof- gehalte (%)	Organische- stofgehalte (%)	Dichtheid (kg/m³)
Invoer slibrijke specie (beluchttingsbassin)	15	20	1088
Invoer zandige specie (landfarm)	74	5	1814
Bovenloop matig zandige specie (beluchttingsbassin)	15	15,5	1091
Onderloop matig zandige specie (landfarm)	80	1,5	1982

De bedrijfscoëfficiënt is gesteld op 1. Hierbij is aangenomen, dat de fractiescheiding niet bepalend is voor de capaciteit van de installatie en is verder in overweging genomen, dat de hier beschouwde biologische processen op een weinig intensieve wijze worden uitgevoerd. Van eventueel optredende storingen wordt derhalve verondersteld dat ze een verwaarloosbare invloed hebben op de verblijftijd van de specie en dus ook op de capaciteit van de installatie.

Produkthoeveelheden

Er wordt aangenomen dat alle producten na biologische reiniging nuttig toepasbaar zijn. Het halen van de streefwaarde wordt als niet reëel beschouwd.

Kostengegevens

Het totale ruimtebeslag voor variant D (beluchttingsbassin en landfarm) is ca. 110.000 m². Hierbij is zowel de landfarmhal als het beluchttingsbassin voor 100% meegeteld. In tabel 12 is het ruimtebeslag nader gespecificeerd.

De plankosten voor engineering worden geschat op 400 kf; de plankosten voor mer en vergunningen eveneens op 400 kf. De investeringskosten voor de installaties bedragen 8.700 kf, opgebouwd uit 5.000 kf voor de scheidingsinstallatie, 2.000 kf voor het landfarm-proces en 1.700 kf voor het beluchttingsbassin-proces. De kapitaalslasten voor de installatie komen voor matig zandige specie op 1.139 kf/jr (inclusief fractiescheiding); voor zandige specie (alleen landfarm) op 392 kf; voor slibrijke specie (alleen beluchttingsbassin) op 350 kf.

De bouwkundige voorzieningen voor de landfarm-hal worden begroot op 10.000 kf; de aanleg van het beluchttingsbassin op 2.800 kf. Het kantoor is inbegrepen bij de hal; de kosten voor de weegbrug zijn geschat op 100 kf. Inclusief de onderhoudskosten

Kosten verwerking baggerspecie

komen de kapitaalslasten voor het terrein daarmee op 907, 1.223 en 1.338 kf/jr voor respectievelijk slibrijke, matig zandige en zandige specie. In tabel 14 wordt een overzicht gegeven van de investeringskosten en kapitaalslasten voor de drie speciesoorten. In de gegeven getallen is de toerekening van de kosten van de landfarmhal verwerkt (0, 32 en 100% voor respectievelijk slibrijke, matig zandige en zandige specie, zie ook onder capaciteits- en procesgegevens in deze paragraaf).

De benodigde personeelssterkte wordt geschat op 11, 14,5 en 11 personen (personeelskosten ca. 1.233, 1.580 en 1.233 kf per jaar), voor respectievelijk slibrijke, matig zandige en zandige specie.

Tabel 12 Ruimtebeslag variant D per onderdeel

Onderdeel	Ruimtebeslag (m ²)
Scheidingsinstallatie	300
Waterzuivering	1.000
Kantoren, weegbrug	500
Verharding, diversen	14.000
Opslag	5.000
Beluchtingsbassin (bruto)	71.429
Hal landfarm	17.500
Totaal ruimtebeslag	110.000

Kosten verwerking baggerspecie

Tabel 13 Investeringskosten en kapitaalslasten variant D

		Slib-rijke specie	Matig zandige specie	Zandige specie
Plankosten engineering	(kf)	400	400	400
Overige plankosten	(kf)	400	400	400
Investering installatie	(kf)	1700	7337	2000
Afschrijving	(kf/jr)	250	814	280
Rente	(kf/jr)	100	325	112
Kapitaalslasten installatie	(kf/jr)	350	1139	392
Aankoop grond	(kf)	4600	4900	1900
Inrichting terrein	(kf)	3086	3150	3075
Weegbrug	(kf)	100	100	100
Bouw hal	(kf)		3183	10000
Aanleg bassin	(kf)	2800	2800	
Afschrijving	(kf/jr)	299	462	659
Rente	(kf/jr)	423	565	603
Onderhoud terrein	(kf/jr)	184	196	76
Kapitaalslasten terrein	(kf/jr)	907	1223	1338

Voor de materieelkosten geldt hetzelfde als bij variant A en B. Naast de overslagkraan en de shovel/vorkheftruck wordt voor het landfarmproces ook een hydraulische graafmachine à f 75 per uur ingezet (operationeel gedurende 25% van het aantal bedrijfsuren). De totale materieelkosten bedragen 290, 323 en 393 kf per jaar voor respectievelijk slibrijke, matig zandige en zandige specie.

Voor de verwarming van de landfarm-hal is ca. 150.000 m³ aardgas per jaar nodig. Bij een gasprijs van 42 ct per m³ betekent dit een kostenpost van 63 kf per jaar. Daarnaast wordt er nog elektrische energie gebruikt: maximaal 500 kW voor de hal, 280 kW voor het beluchtingsbassin en tussen 126 en 175 kW (afhankelijk van de omstandigheden) voor de scheidingsinstallatie. In tabel 14 zijn de energiekosten voor de verschillende types specie gespecificeerd. Hierin is te zien, dat de totale energiekosten komen op 216 tot 704 kf (ca. hfl 6,60 tot hfl 19,70 per ton d.s.).

Kosten verwerking baggerspecie

Tabel 14 Energiekosten voor variant D

	Elektr. kosten (kf/jr)	Gaskosten (kf/jr)	Totale energiekosten (kf/jr)	Energiekosten (hfl/ton d.s.)
Zandige specie				
licht verontr.	386	63	449	7,97
zwaar verontr.	386	63	449	15,94
Matig zandige specie slecht ontwaterb.				
licht verontr.	684	20	704	13,06
zwaar verontr.	512	20	532	19,72
Matig zandige specie matig ontwaterb.				
licht verontr.	522	20	542	10,05
zwaar verontr.	431	20	451	16,71
Matig zandige specie goed ontwaterb.				
licht verontr.	469	20	489	9,06
zwaar verontr.	404	20	424	15,72
Slibrijke specie				
licht verontr.	216	n.v.t.	216	6,63
zwaar verontr.	216	n.v.t.	216	13,25

Er zijn geen vlokmiddelen voor ontwatering nodig. De enige toeslagstoffen betreffen chemicaliën (meststoffen) voor de biologische reiniging. Deze bedragen 7 tot 11 kf per jaar (40 ct per ton d.s.)

4 Resultaten

4.1 Vaststellen van relevante cellen

In bijlage 2 worden als voorbeeld de resultaten van de kostprijs- en volume-berekeningen gegeven voor de volgende combinatie van factoren: hoeveelheid specie 0,5 miljoen ton/jaar, organische (biologisch afbreekbare) verontreinigingen, onderloop nuttig toepasbaar en matige ontwaterbaarheid, voor zover deze als relevant zijn beoordeeld. Als irrelevant ('IRR') zijn de volgende (combinaties van) factoren en varianten beoordeeld:

- Variant A, als de grove fractie (onderloop) verontreinigd is (3^e niveau van factor 3). Er wordt vanuit gegaan dat het wassen van de onderloop met een opstroomkolom niet voldoende is om de onderloop nuttig toepasbaar of herbruikbaar te maken, zodat de behandeling met variant A geen zin heeft;
- Variant A en B, in het geval van slibrijke species (1^e niveau van factor 5). De te storten slibhoeveelheden zijn hier zodanig groot, dat de specie beter in zijn geheel kan worden gestort (of eventueel behandeld met een andere variant);
- Variant B, als de grove fractie (onderloop) schoon is (1^e niveau van factor 3). In dat geval heeft een intensieve behandeling van de onderloop (door middel van flotatie) geen zin;
- Variant C, voor licht verontreinigde species (1^e niveau van factor 4). Overweging daarbij is dat een zo intensieve behandeling als bij variant C alleen zinvol lijkt bij zwaar verontreinigde species;
- Variant D, bij verontreinigingen die bestaan uit zware metalen en 'cocktails' van verontreinigende stoffen (2^e en 3^e niveau van factor 2). In het eerstgenoemde geval is dit triviaal; in het laatstgenoemde geval moet worden bedacht, dat bij een (aërobe) biologische behandeling de beschikbaarheid (toxiciteit) van de aanwezige metalen in het algemeen zal toenemen.

Er wordt voor de beoordeling van de relevantie bij variant C en D geen onderscheid gemaakt tussen slibrijke, matig zandige en zandige specie of tussen een schone en een verontreinigde grove fractie. Hydrocyclonage heeft bij deze varianten namelijk niet als doel het produceren van een schone zandfractie, maar het verbeteren van de procescondities bij de immobilisatie, respectievelijk bij landfarming en beluchtingsbassin. Deze factoren hebben uiteraard wel invloed op de hoeveelheden producten. Daarnaast is de speciesamenstelling bepalend voor de procesroute bij variant D (zie hoofdstuk 3).

De niveaus van factor 1 (de hoeveelheid te reinigen specie: respectievelijk 0,5, 2 en 10 miljoen ton d.s.) zijn niet van belang voor de bepaling van de relevantie.

4.2 Resultaten van kostprijs- en hoeveelheidsberekeningen

In bijlage 3 wordt voor hetzelfde voorbeeld als bijlage 2 (zie paragraaf 4.1; ernstige verontreinigingsgraad) een tabel gegeven, waarin de kostenopbouw voor de varianten A tot en met D wordt gegeven. Ook zijn hierin de resultaten van volumeberekeningen gegeven.

Kosten verwerking baggerspecie

In bijlage 4 worden de resultaten van de kostenberekeningen (in hfl/ton d.s.) in staafgrafieken weergegeven. Eerst worden de grafieken voor de organische (biologisch afbreekbare) verontreinigingen getoond, daarna die voor de zware metalen en tenslotte die voor de 'mix' verontreinigingen. Al deze grafieken worden voor de drie verschillende waarden van factor 6 (ontwaterbaarheid van de specie) weergegeven. Aangezien er geen verschil in kosten is tussen de verschillende niveaus van factor 3 (zie hieronder), zijn in verband met de overzichtelijkheid alleen de grafieken voor het tweede niveau van deze factor ('onderloop toepasbaar') opgenomen.

Bij de vergelijking van de kostprijsresultaten (in hfl per ton d.s.) voor de verschillende varianten moet worden bedacht dat de varianten verschillende soorten produkten leveren, zodat niet alléén de kostprijsresultaten mogen worden beschouwd. Zo leveren de varianten A en B produkten waarvan altijd een deel moet worden gestort. De varianten C en D leveren daarentegen alleen herbruikbare of nuttig toepasbare produkten. Verder zal de ene specie bijvoorbeeld alleen met variant B kunnen worden behandeld, terwijl voor een andere specie meerdere varianten toepasbaar zijn. Ook moet worden bedacht, dat de beschouwde varianten tamelijk willekeurig zijn geselecteerd en dat er meer varianten voor selectie in aanmerking komen, die mogelijk sterk afwijkende kostenplaatjes laten zien.

De resultaten van de kostprijsberekeningen kunnen als volgt globaal worden samengevat (afgerond op hfl 5/ton d.s.):

- Voor variant A liggen de kosten bij een jaarlijkse hoeveelheid van $5 \cdot 10^5$ ton d.s. tussen 50 hfl/ton d.s. (voor zandige, goed ontwaterbare, licht verontreinigde specie) en 130 hfl/ton d.s. (voor matig zandige, slecht ontwaterbare, sterk verontreinigde specie). Bij een jaarlijkse hoeveelheid van $2 \cdot 10^6$ ton d.s. zijn deze bedragen respectievelijk 40 en 120 hfl/ton d.s.; bij een jaarlijkse hoeveelheid van $10 \cdot 10^6$ ton d.s. respectievelijk 40 en 95 hfl/ton d.s.;
- Voor variant B liggen de kosten bij een jaarlijkse hoeveelheid van $5 \cdot 10^5$ ton d.s. tussen 65 hfl/ton d.s. (voor zandige, goed ontwaterbare, licht verontreinigde specie) en 165 hfl/ton d.s. (voor matig zandige, slecht ontwaterbare, zwaar verontreinigde specie). Bij een jaarlijkse hoeveelheid van $2 \cdot 10^6$ ton d.s. zijn deze bedragen respectievelijk 55 en 155 hfl/ton d.s.; bij een jaarlijkse hoeveelheid van $10 \cdot 10^6$ ton d.s. respectievelijk 50 en 130 hfl/ton d.s.;
- Voor variant C liggen de kosten onafhankelijk van de jaarlijkse hoeveelheid tussen 130 hfl/ton d.s. (voor zandige, goed ontwaterbare specie) en 320 hfl/ton d.s. (voor slibrijke, slecht ontwaterbare specie);
- Voor variant D liggen de kosten onafhankelijk van de jaarlijkse hoeveelheid tussen 85 hfl/ton d.s. (voor zandige, licht verontreinigde specie) en 350 hfl/ton d.s. (voor matig zandige, zwaar verontreinigde, slecht ontwaterbare specie).
Bij deze variant zijn de kosten in sterke mate afhankelijk van de aanname betreffende het aantal jaarlijks te behandelen batches (zie paragraaf 3.6). Bij een intensievere behandeling (beluchting, temperatuurverhoging, etc.) kan de capaciteit wellicht worden verhoogd. Aangezien bij waterbodems PAK's vaak de belangrijkste verontreiniging vormen en moeilijker afbreekbaar zijn dan de bij landbodems vaak voorkomende olieverontreiniging, is het aantal jaarlijkse batches hier relatief laag gekozen.

Enkele algemene conclusies met betrekking tot de resultaten van de kostprijsberekeningen worden hieronder gegeven. Sommige van deze conclusies volgen direct uit de gekozen uitgangspunten (geen bagger- en transportkosten, geen stortkosten, geen opbrengsten, etc., zie hoofdstuk 3).

Kosten verwerking baggerspecie

- Alleen bij de varianten A en B is er sprake van een invloed van factor 1 (de hoeveelheid te behandelen specie).
- Afgezien van de vraag of een variant toepasbaar (of relevant) is, heeft de aard van de verontreinigende stoffen (factor 2) een slechts zeer geringe invloed (maximaal enkele procenten voor variant B) op de kosten. De invloed wordt veroorzaakt door het verbruik van toeslagstoffen.
- De verdeling van de verontreinigingen (factor 3), tot uiting komend in de beoordeling van de onderloop als schoon, nuttig toepasbaar of verontreinigd, is bij het niet in beschouwing nemen van stortkosten en opbrengsten niet van belang voor de kosten, maar alleen voor de hoeveelheden produkten.
- Bij variant A en B is er een geringe invloed van de verontreinigingsgraad op de kosten (factor 4). De invloed is het grootst (ca. 6 tot 8%) bij de kleinste jaarlijkse hoeveelheid (0,5 miljoen ton specie per jaar) en met zware metalen (of een mix) als verontreinigende stoffen. Bij de grootste jaarlijkse hoeveelheid (10 miljoen ton specie) is de invloed praktisch nihil. Zoals eerder is vermeld, zijn bij variant D de kosten wel sterk afhankelijk van factor 4, doordat de capaciteit bij zwaar verontreinigde specie op de helft van die bij licht verontreinigde specie is gesteld.
- De macro-samenstelling (factor 5) heeft bij alle varianten een belangrijke invloed op de kosten per ton droge stof. Met zandige specie worden de laagste kosten gevonden, met slibrijke specie de hoogste (met uitzondering van variant D). De invloed van deze factor is het grootst bij slecht ontwaterbare specie. Bij variant D is de invloed relatief klein; hier zijn de kosten voor slibrijke specie iets lager dan voor matig zandige specie. De oorzaak hiervoor is gelegen in het uitgangspunt dat slibrijke specie rechtstreeks (zonder fractiescheiding) in een beluchtingsbassin kan worden behandeld.
- De ontwaterbaarheid (factor 6) is van groot belang voor de kosten bij variant A, B en C en iets minder bij variant D. De invloed is het kleinst bij zandige specie.
- De jaarlijkse hoeveelheden van de onderscheiden produkten (herbruikbaar, nuttig toepasbaar en te storten) zijn alleen afhankelijk van factor 1 (de jaarlijkse hoeveelheid te behandelen specie), factor 3 (verdeling van de verontreinigende stoffen) en factor 5 (macro-samenstelling van de specie).

5 Discussie/conclusies

Als resultaat van het in dit rapport beschreven project is er een model ontwikkeld (Symphony-spreadsheet), waarmee snel de invloed van een zestal variabelen op de verwerkingskosten en hoeveelheden produkten kan worden getoond. Daarnaast zijn resultaten van wijzigingen in (getalsmatige) uitgangspunten momentaan te verkrijgen. Doordat ook de hoeveelheden produkten steeds worden berekend, is het relatief eenvoudig om het model zodanig uit te breiden, dat rekening wordt gehouden met storkosten en met eventuele opbrengsten van produkten. Indien gewenst, kunnen ook bagger- en transportkosten worden toegevoegd.

Zoals in hoofdstuk 4 is aangegeven, moet bij het vergelijken van de kostprijsresultaten voor de verschillende varianten worden bedacht, dat de varianten verschillende toepassingsvoorwaarden stellen en verschillende soorten produkten leveren, zodat niet alléén de kostprijsresultaten mogen worden beschouwd. Zo leveren de varianten A en B produkten waarvan altijd een deel moet worden gestort. De varianten C en D leveren daarentegen vrijwel alleen herbruikbare of nuttig toepasbare produkten. Verder zal de ene specie bijvoorbeeld alleen met één van de beschouwde varianten kunnen worden behandeld, terwijl voor een andere specie meerdere varianten toepasbaar zijn. Bij variant D worden er eisen gesteld aan het gehalte aan anorganische verontreinigingen in het eindprodukt. Het is denkbaar dat - hoewel het metaalgehalte in de opgebaggerde specie gering is - het eindprodukt tengevolge van het verwerkingsproces een samenstelling heeft die niet aan de normen voldoet.

Als resultaat van de modelberekeningen met de in dit rapport beschreven uitgangspunten is er voor een groot aantal gevallen ('cellen') een schatting gemaakt van de baggerspecieverwerkingskosten en van de hoeveelheden materiaal die vrijkomen voor hergebruik, nuttige toepassing en stort.

Er wordt in het ontwikkelde model geen rekening gehouden met de 'aanbodzijde', die bepaalt hoeveel specie van een zekere samenstelling er in Nederland aanwezig is. Afstemming is pas mogelijk, als er voldoende gedetailleerde gegevens op dit gebied beschikbaar zijn. In dit verband kan ook worden verwezen naar een conclusie in het rapport 'Hergebruik van Baggerspecie'¹⁾, waarin wordt gesteld dat er onvoldoende inzicht bestaat in het landelijk aanbod van zandrijke verontreinigde baggerspecie en dat het verkrijgen van een totaal overzicht met betrekking tot verontreinigingen, grondsoort met korrelverdeling en volume van de projecten van groot belang is.

De gekozen waarden voor de instelvariabelen kunnen derhalve situaties opleveren, die op basis van op dit moment aanwezige informatie mogelijk als niet reëel moeten worden beschouwd, bijvoorbeeld omdat er geen 10 miljoen ton per jaar aan zandige specie vrijkomt, die tot klasse 4 verontreinigd is met alleen zware metalen en waarvan de grove fractie schoon is. De berekende gevoeligheden zijn dan slechts hypothetisch.

¹⁾ J. van 't Hoff, R.H.W. van Vechgel,
'Hergebruik van baggerspecie; zandwinning met behulp van scheidingstechnieken',
rapport P-DWW-94-503, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, maart 1994.

Kosten verwerking baggerspecie

De belangrijkste conclusies uit hoofdstuk 4 worden hieronder nogmaals kort weergegeven:

- Alleen bij de varianten A en B is er sprake van een invloed van factor 1 (de jaarlijkse hoeveelheid te behandelen specie) op de kosten (per ton d.s.).
- De aard van de verontreinigende stoffen (factor 2) heeft slechts een zeer geringe invloed (maximaal enkele procenten voor variant B) op de kosten.
- De verdeling van de verontreinigingen (factor 3) is niet van belang voor de kosten, maar alleen voor de hoeveelheden producten.
- Bij variant A en B is er een geringe invloed van de verontreinigingsgraad op de kosten (factor 4). Bij de grootste jaarlijkse hoeveelheid (10 miljoen ton specie) is de invloed praktisch nihil. Bij variant D zijn de kosten wel sterk afhankelijk van deze factor.
- De macro-samenstelling (factor 5) heeft bij alle varianten een belangrijke invloed op de kosten per ton droge stof. Met slibrijke specie worden de hoogste kosten gevonden, met zandige specie de laagste. De invloed van deze factor is het grootst bij slecht ontwaterbare specie. Bij variant D is de invloed relatief klein; hier zijn de kosten voor slibrijke specie iets lager dan voor matig zandige specie.
- De ontwaterbaarheid (factor 6) is van groot belang voor de kosten bij variant A, B en C en iets minder bij variant D. De invloed is het kleinst bij zandige specie.

Er moet worden bedacht, dat de beschouwde varianten tamelijk willekeurig zijn geselecteerd en dat er meer varianten in het model kunnen worden opgenomen, die mogelijk sterk afwijkende kostenplaatjes laten zien. Om de bruikbaarheid van het model te vergroten, kan dit worden uitgebreid met een aantal nader te selecteren varianten. Met name moet hier worden gedacht aan kansrijke varianten, zoals een combinatie van voorscheiding in een sedimentatiebekken, verwerking (fractiescheiding) van een deel van het hierin gesedimenteerde materiaal en een aangrenzende stortlokatie, waarbij gebruik kan worden gemaakt van natuurlijke ontwatering van de slibfractie.

Ook kan worden overwogen om de storkosten en eventuele opbrengsten van producten in het model in te bouwen, zodat verschillen in de verontreinigingsgraad van de onderloop ook tot differentiatie in de kosten leidt.

6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

VROM-DGM, Directie Bodem
t.a.v. dhr. mr. drs. L.J.J. Gravesteijn
Hoofd van de Afdeling Bodembescherming
Postbus 450
2260 MB Leidschendam

Namen en functies van de medewerkers

Dr. J. Joziase	- onderzoeker
Ing. H.J. van Veen	- projectmedewerker
Ing. P.H. Lansink	- projectmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Heidemij Advies
Arnhem

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
1993 tot juni 1994

Ondertekening



Dr. J. Joziase
onderzoeker

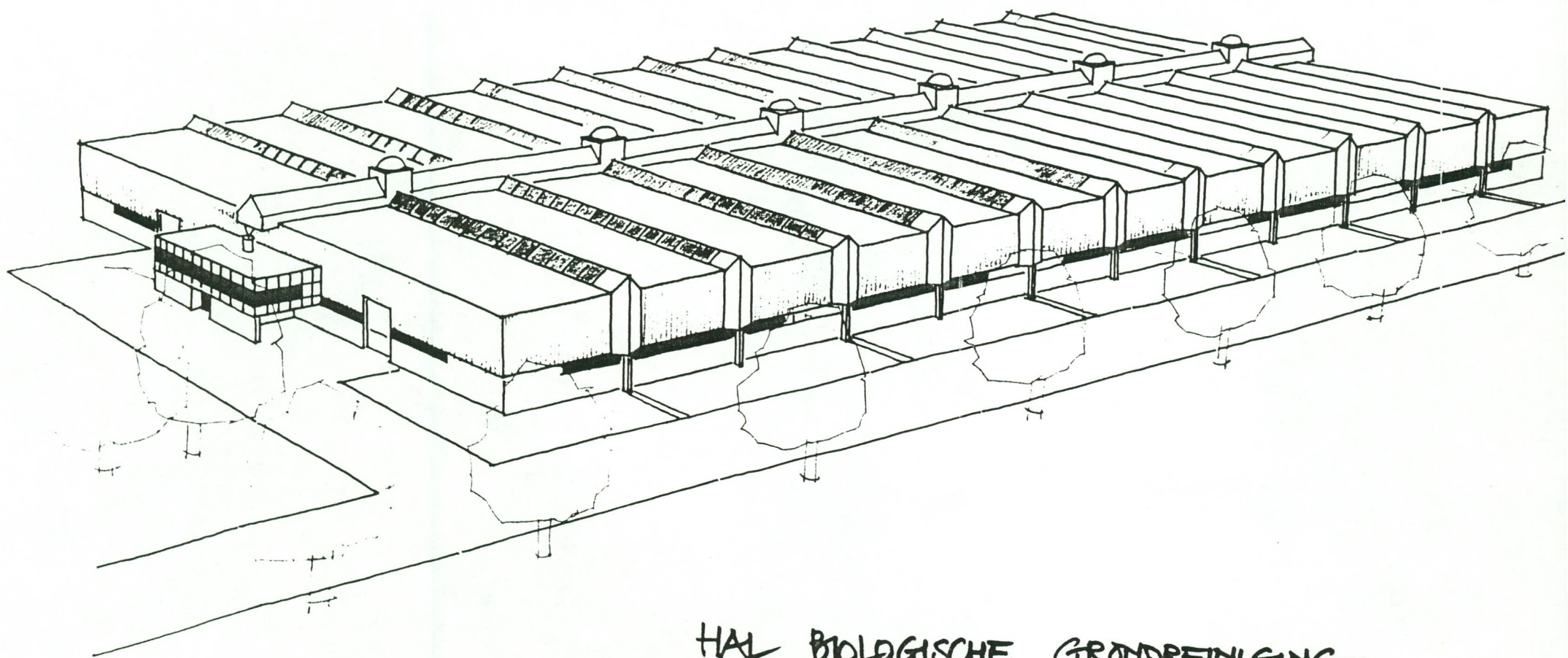
Goedgekeurd door



Dr. ir. J.A. Zeevalkink
werkgroep leider

Kosten verwerking baggerspecie

Bijlage 1



HAL BIOLOGISCHE GRONDREINIGING

Kosten verwerking baggerspecie

Bijlage 2

Berekening kosten baggerspecieverwerking en hoeveelheden produkten

5

Hoeveelheid te reinigen specie : 0,5 miljoen ton/jaar
Aard v.d. verontr. stoffen : organische stoffen
Verontreinigingsgraad : licht verontreinigd
Verdeling v.d. verontr. stoffen: onderloop toepasbaar
Ontwaterbaarheid : matig

Variant A

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	IRR.	IRR.	IRR.	IRR.
matig zandig	74.62		196500	303500
zandig	50.57		343725	156275

Variant B

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	IRR.	IRR.	IRR.	IRR.
matig zandig	95.31		195500	304500
zandig	65.70		343225	156775

Variant C

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	IRR.	IRR.	IRR.	IRR.
matig zandig	IRR.	IRR.	IRR.	IRR.
zandig	IRR.	IRR.	IRR.	IRR.

Variant D

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	118.88		500000	
matig zandig	125.94		500000	
zandig	87.50		500000	

5

Hoeveelheid te reinigen specie : 0,5 miljoen ton/jaar
Aard v.d. verontr. stoffen : organische stoffen
Verontreinigingsgraad : zwaar verontreinigd
Verdeling v.d. verontr. stoffen: onderloop toepasbaar
Ontwaterbaarheid : matig

Variant A

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	IRR.	IRR.	IRR.	IRR.
matig zandig	76.39		196500	303500
zandig	52.35		343725	156275

Variant B

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	IRR.	IRR.	IRR.	IRR.
matig zandig	98.86		195500	304500
zandig	69.25		343225	156775

Variant C

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	281.36		419633	1585
matig zandig	232.03		420158	1274
zandig	130.79		462400	538

Variant D

Macro-samenst. specie	Kosten (f/ton d.s.)	Hoev. schoon (ton d.s.)	Hoev. toepasb. (ton d.s.)	Storthoev. (ton d.s.)
slibrijk	237.29		500000	
matig zandig	247.40		500000	
zandig	174.53		500000	

IRR = irrelevant

Kosten verwerking baggerspecie

Bijlage 3

A. RESULTATEN KOSTENBEREKENINGEN

Hoeveelheid te reinigen specie : 500000 ton d.s./jaar Verontreinigingsgraad : zwaar verontreinigd
Aard v.d. verontr. stoffen : organische stoffen Macro-samenstelling specie: matig zandig
Verdeling v.d. verontr. stoffen: onderloop nuttig toepasbaar Ontwaterbaarheid : matig

Exploitatiekosten (kf/jaar)	Varianten (1 installatie)				Varianten (4 installaties)	
	A	B	C	D	A	B
Kapitaalslasten terrein	310	310	3227	1223	1016	1016
Kapitaalslasten installatie	770	1218	14242	1139	2800	4592
Loonkosten	1833	2055	10377	1580	6395	7010
Materieelkosten	217	217	1085	323	217	217
Reparatie en onderhoud	500	820	10057	734	2000	3280
Verzekeringen	77	104	1078	182	120	197
Energieverbruik	203	406	5882	451	811	1623
Toeslagstoffen	938	1122	4513	11	50	60
Overige prod.kosten			1571			
Algemene kosten	364	469	3785	423	1006	1350
Winst, risico	521	672	5582	607	1442	1934
Totale kosten (kf per jaar)	5732	7392	61400	6673	15857	21279
Kosten (hfl per ton d.s.)	76.39	98.86	250.59	247.40	52.84	71.14
Kosten (hfl per m3 specie)	76.43	98.90	250.71	247.52	52.87	71.18

Uitwerking voor de totale gevraagde capaciteit:

Gevraagde capaciteit (ton d.s./jr)	Tot. kosten (kf/jr)				Kosten (hfl/ton d.s.)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
500000	38197	49428	116015	123698	76.39	98.86	232.03	247.40
2000000	124873	164865	464062	494793	62.44	82.43	232.03	247.40
10000000	531919	715551	2320309	2473966	53.19	71.56	232.03	247.40

B. RESULTATEN VOLUMEBEREKENINGEN

Materialen	Hoeveelheid (ton d.s. per jaar)				Volume (m3 per jaar)			
	Varianten				Varianten			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Specie	500000	500000	500000	500000	499757	499757	499757	499757
Zand	196500	195500	82953	196500	123908	122917	52308	123908
Slib	303500	304500	1274	303500	654411	658115	910	654411
Immobilisaat			337205				156840	
Eindbestemmingen	Hoeveelheid (ton d.s. per jaar)				Volume (m3 per jaar)			
	Varianten				Varianten			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Hergebruik								
Nuttige toepassing	196500	195500	420158	500000	123908	122917	209147	778319
Stortbestemming	303500	304500	1274		654411	658115	910	

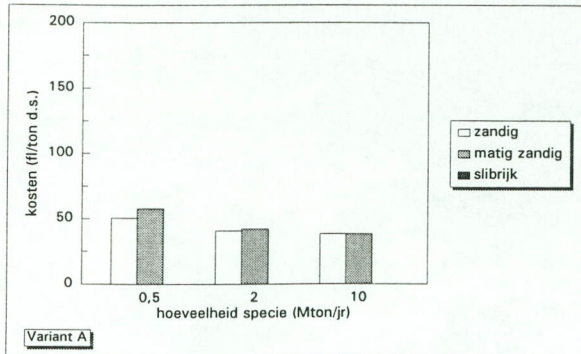
Kosten verwerking baggerspecie

Bijlage 4

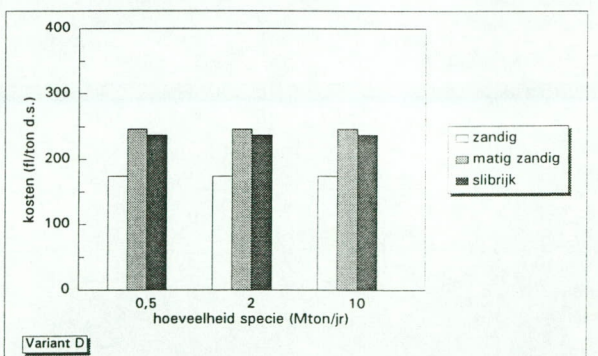
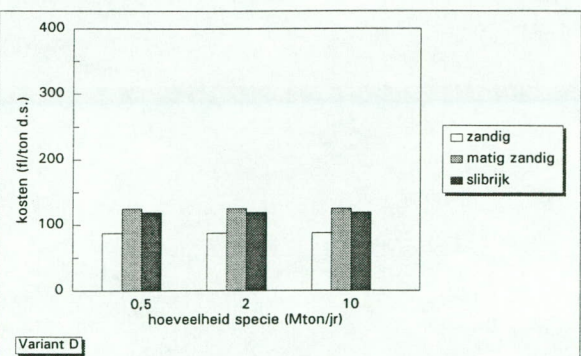
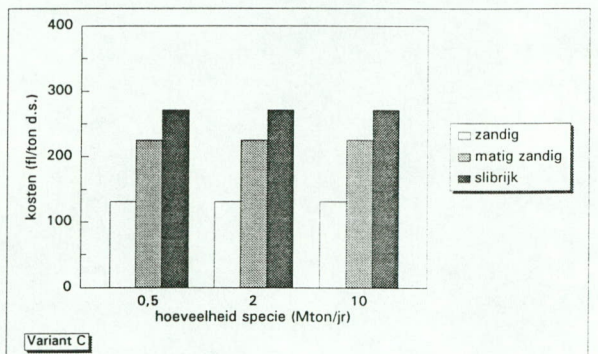
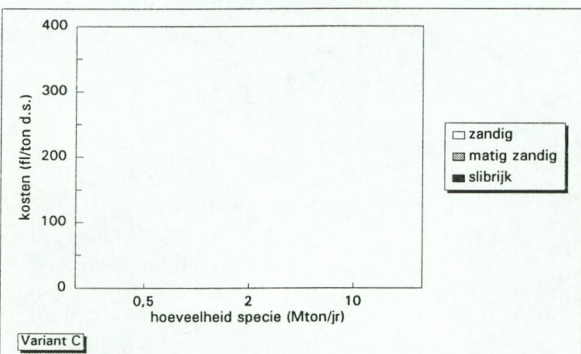
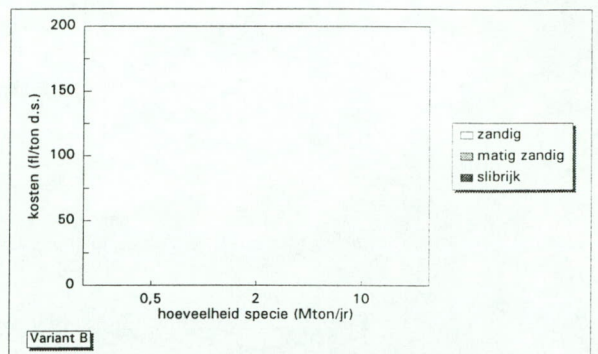
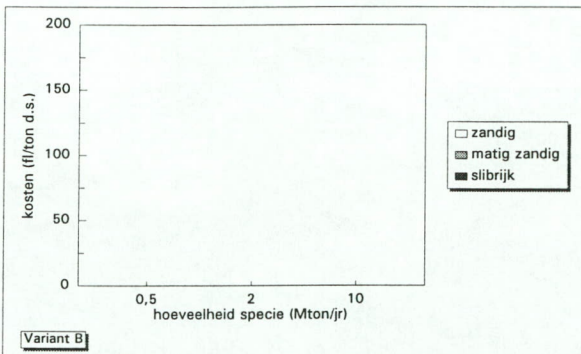
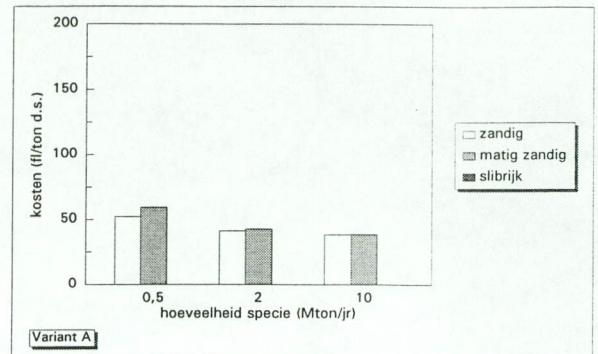
Aard van de verontreinigende stoffen:
Verdeling van de verontreinigende stoffen:
Ontwaterbaarheid:

organisch
onderloop schoon
goed

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



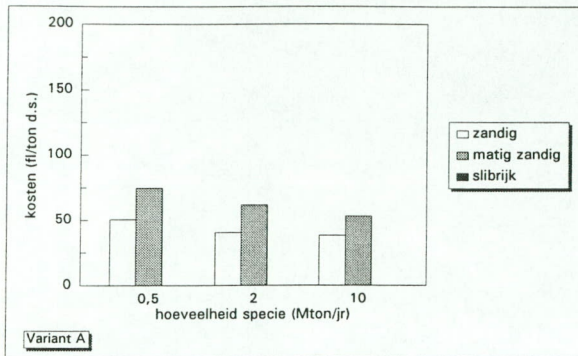
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



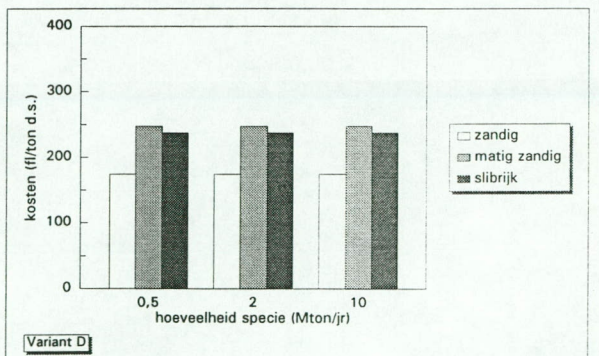
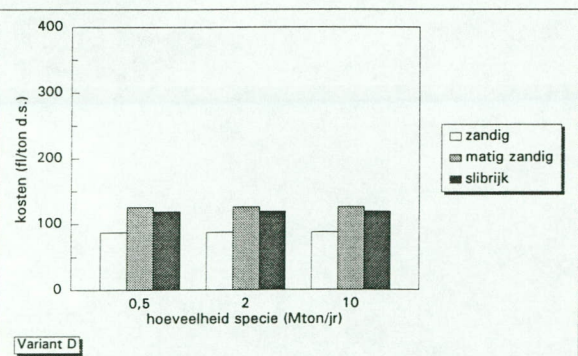
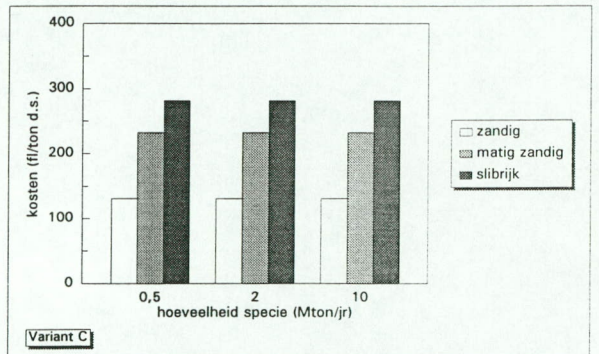
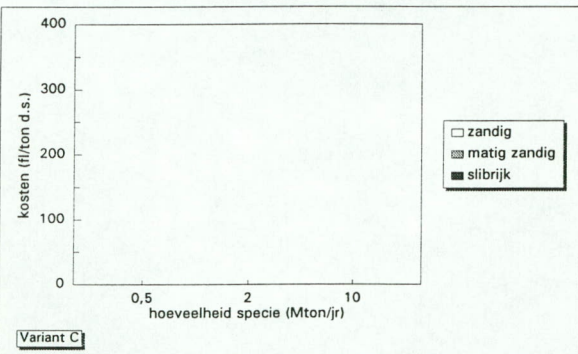
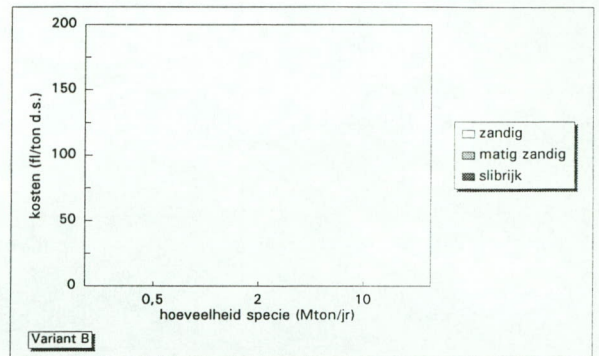
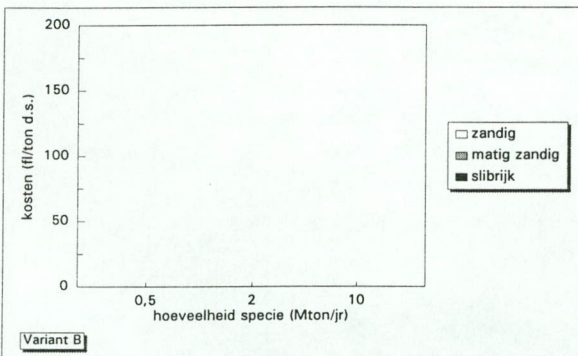
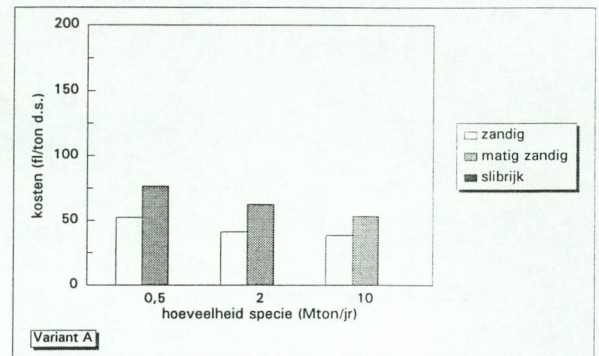
Aard van de verontreinigende stoffen:
Verdeling van de verontreinigende stoffen:
Ontwaterbaarheid:

organisch
onderloop schoon
matig

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



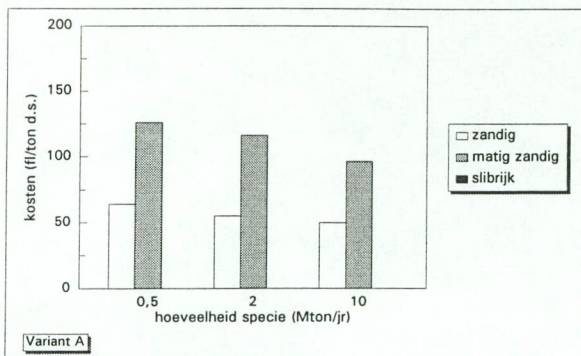
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



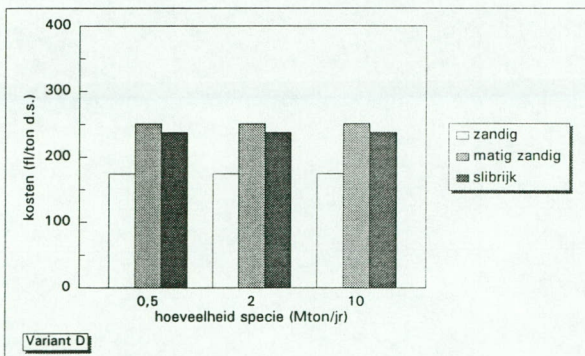
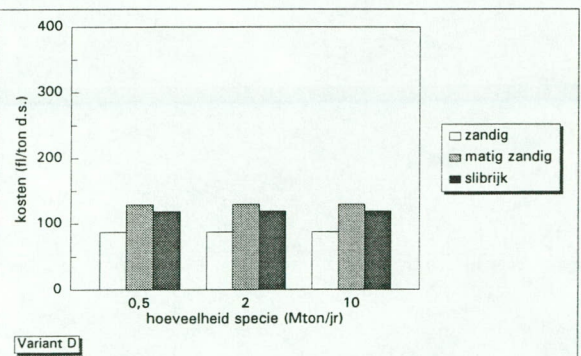
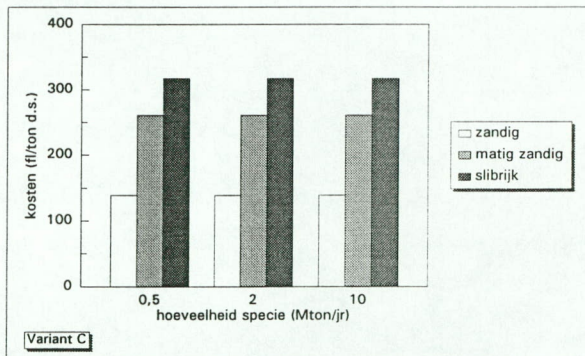
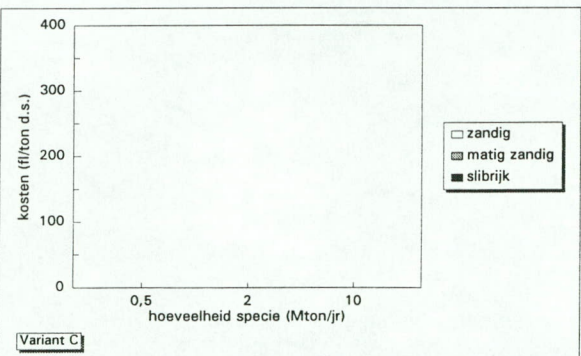
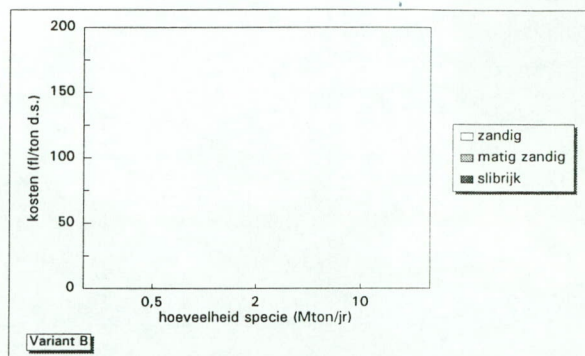
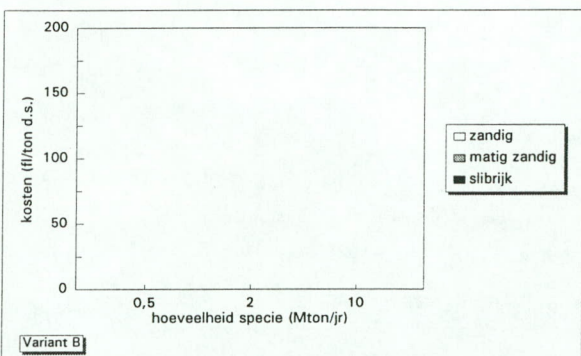
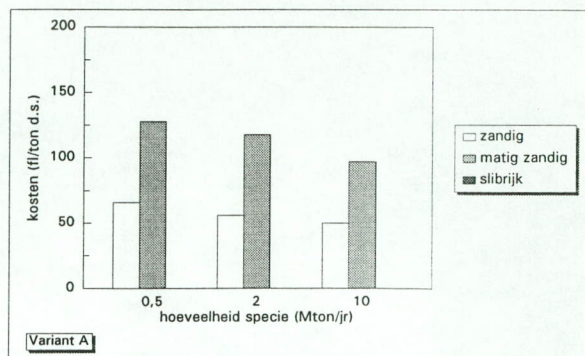
Aard van de verontreinigende stoffen:
Verdeling van de verontreinigende stoffen:
Ontwaterbaarheid:

organisch
onderloop schoon
slecht

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



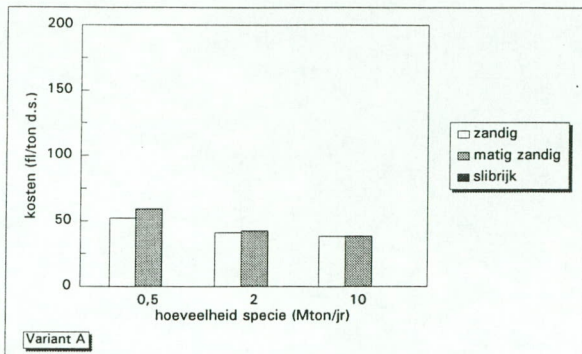
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



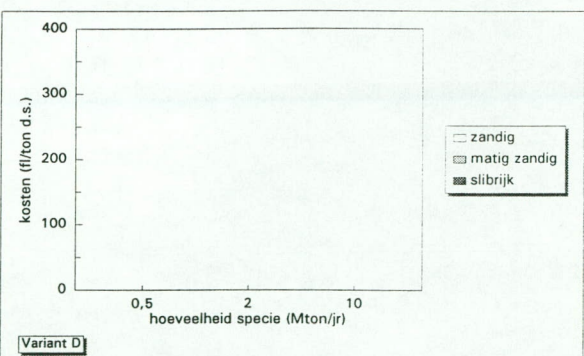
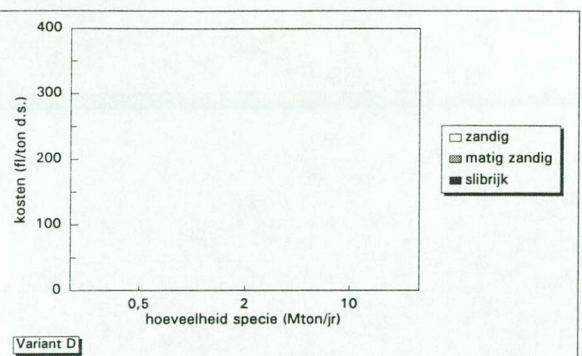
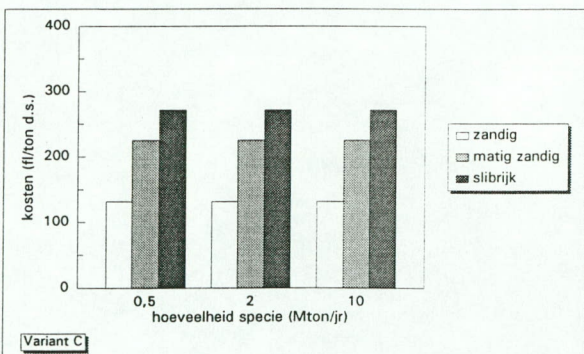
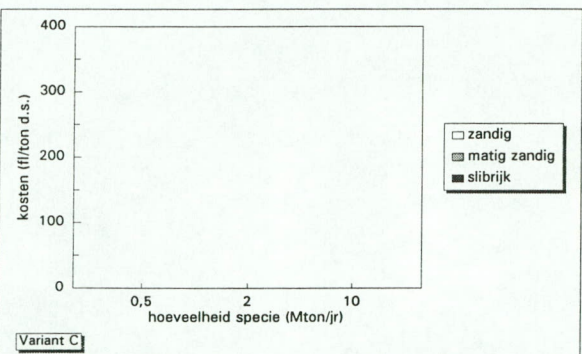
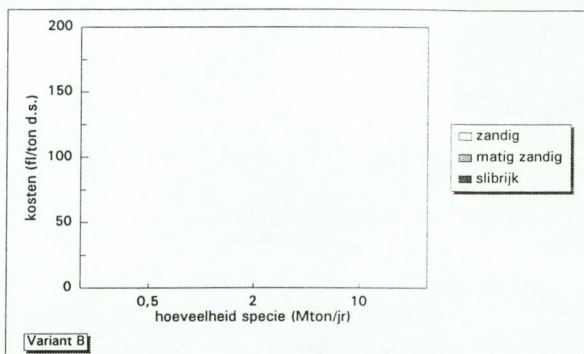
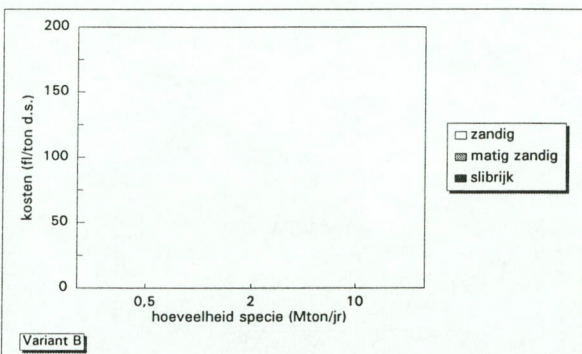
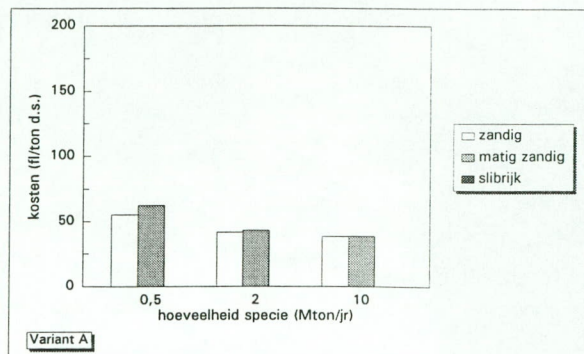
Aard van de verontreinigende stoffen:
Verdeling van de verontreinigende stoffen:
Ontwaterbaarheid:

zware metalen
onderloop schoon
goed

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



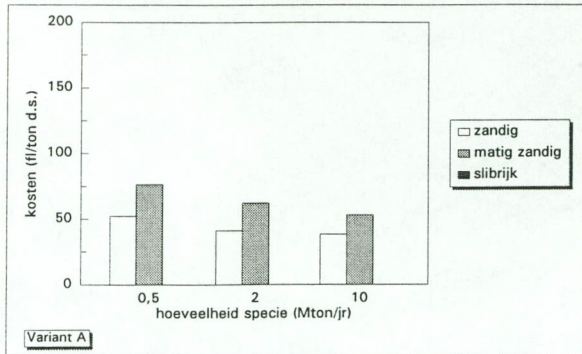
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



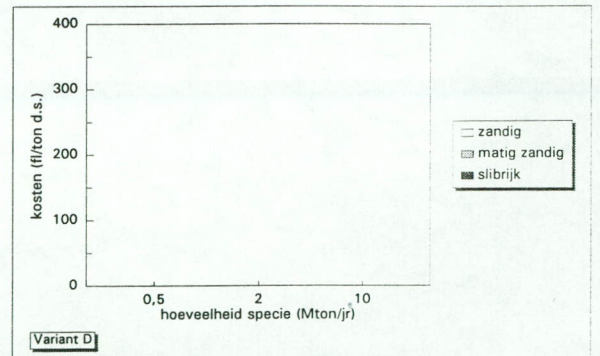
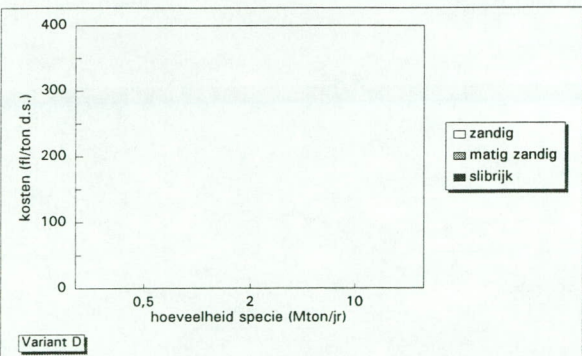
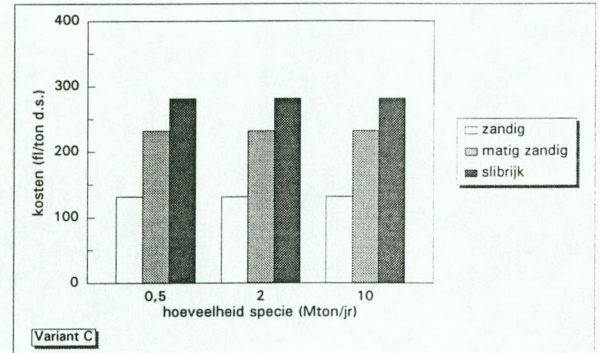
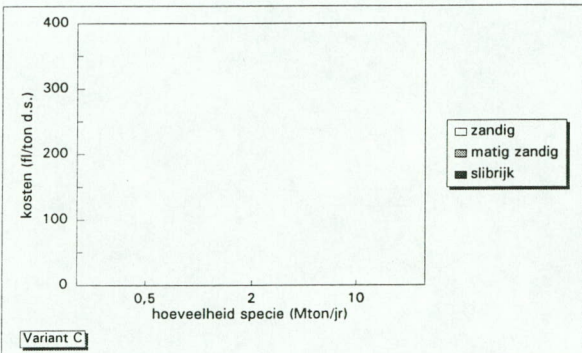
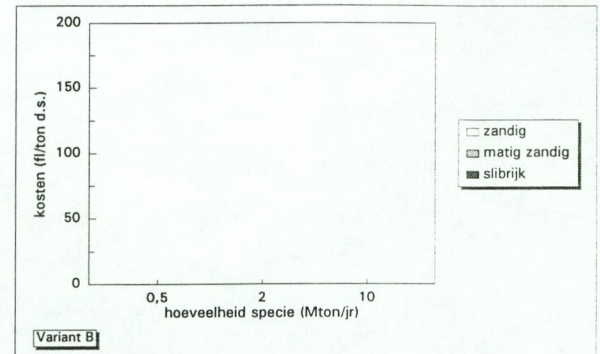
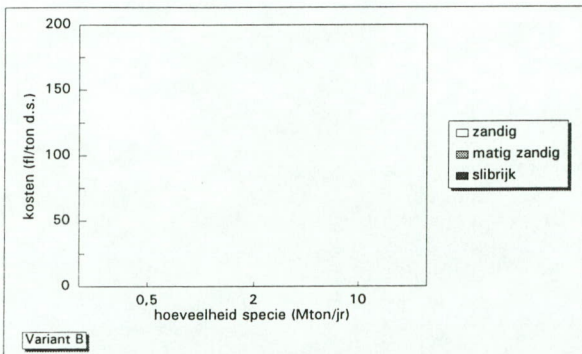
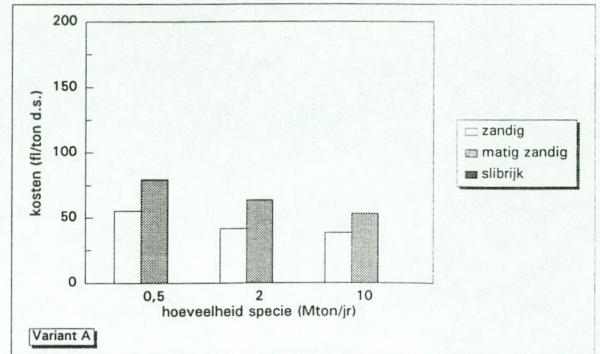
Aard van de verontreinigende stoffen:
 Verdeling van de verontreinigende stoffen:
 Ontwaterbaarheid:

zware metalen
 onderloop schoon
 matig

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



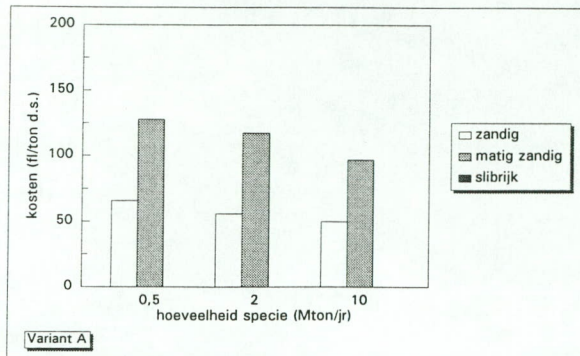
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



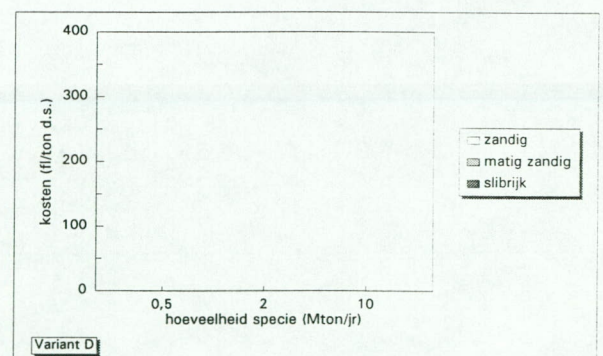
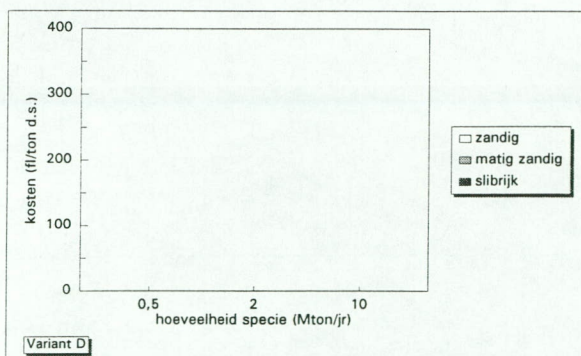
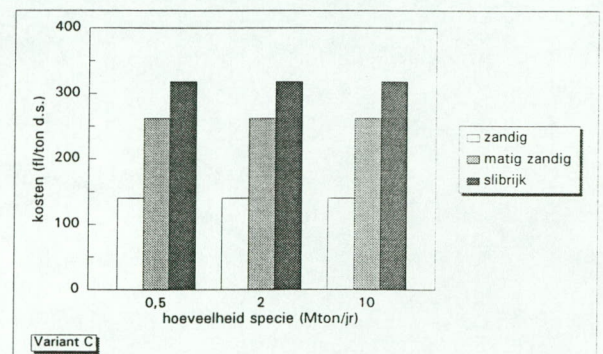
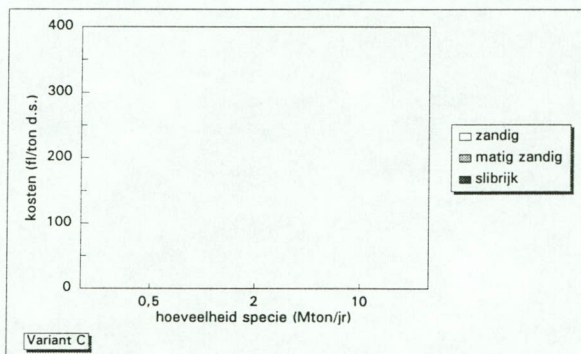
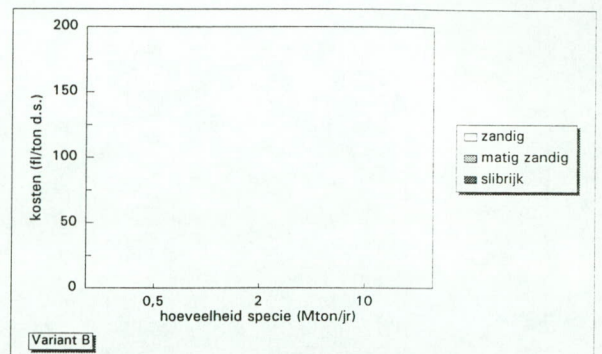
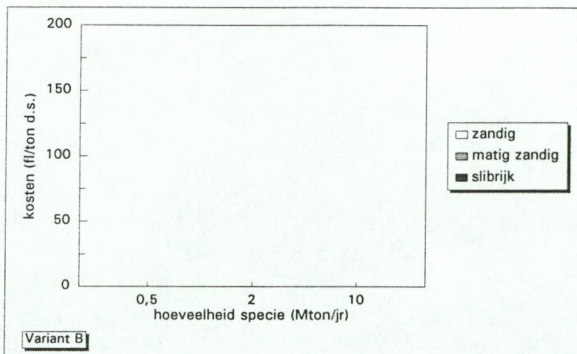
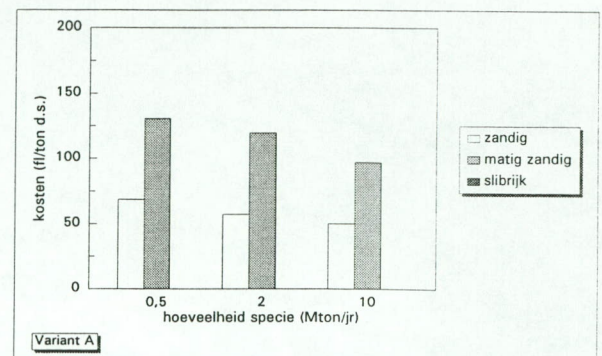
Aard van de verontreinigende stoffen:
 Verdeling van de verontreinigende stoffen:
 Ontwaterbaarheid:

zware metalen
 onderloop schoon
 slecht

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



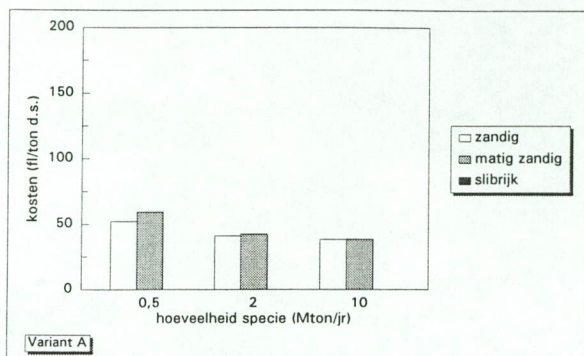
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



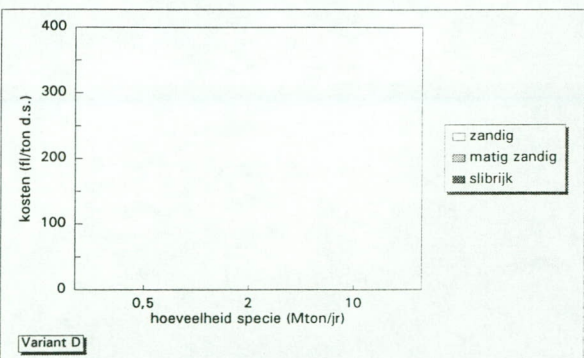
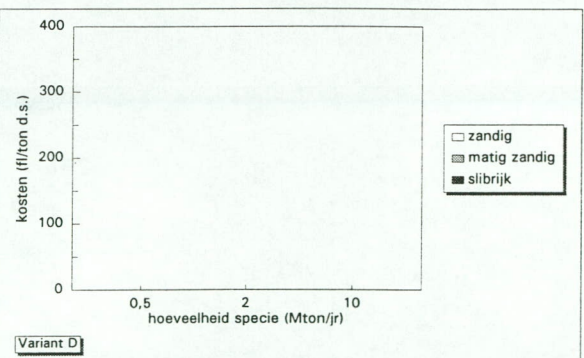
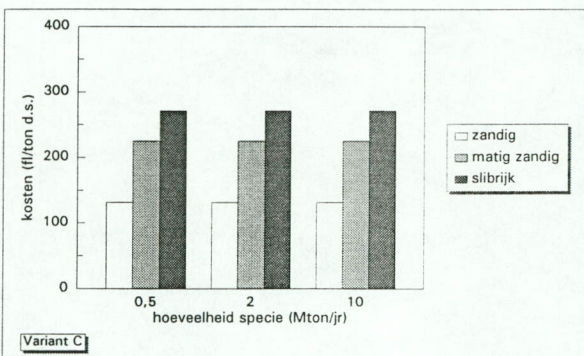
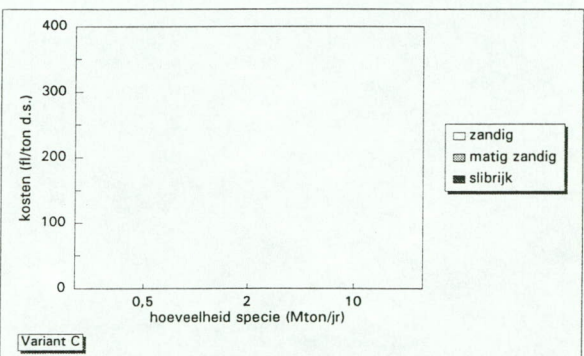
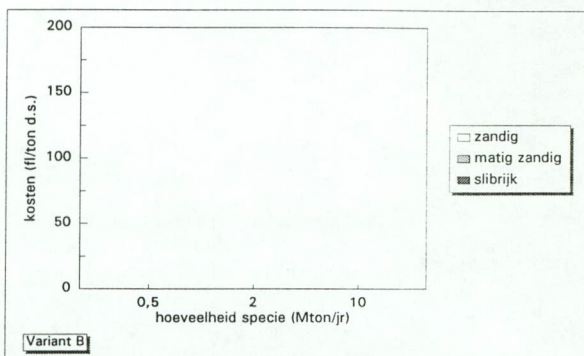
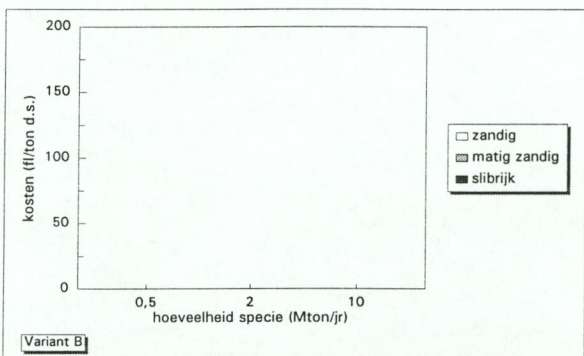
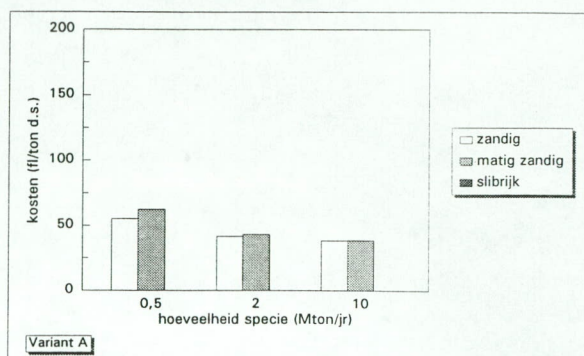
Aard van de verontreinigende stoffen:
Verdeling van de verontreinigende stoffen:
Ontwaterbaarheid:

mix org. stoffen en zware metalen
onderloop schoon
goed

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



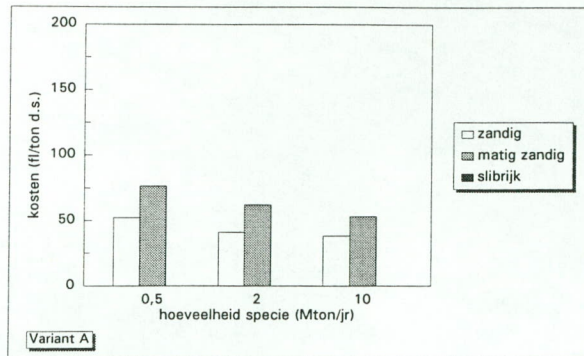
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



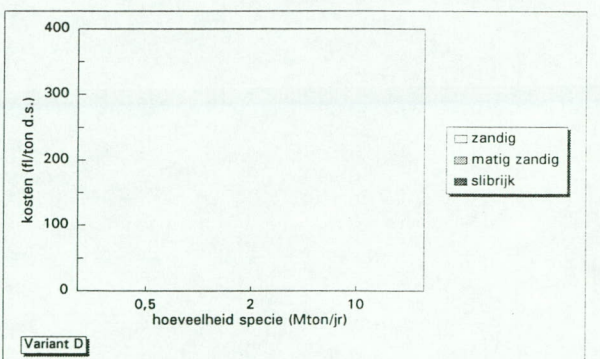
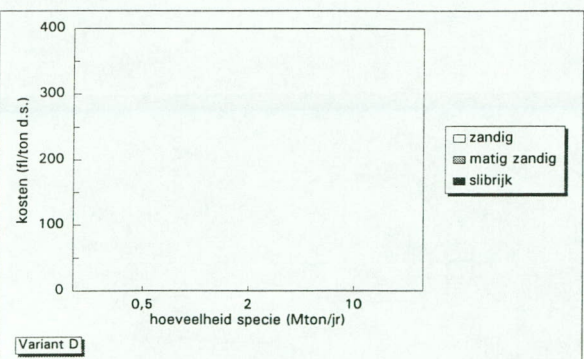
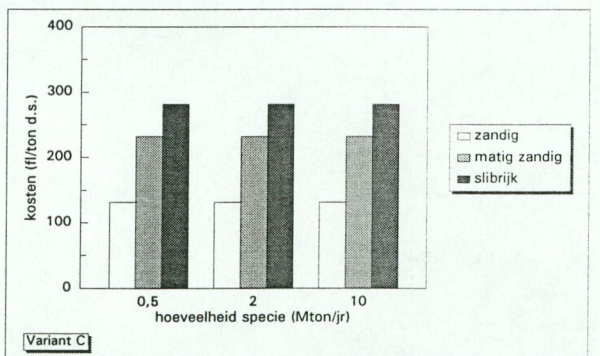
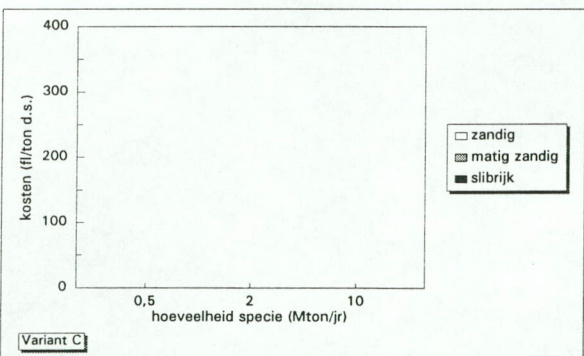
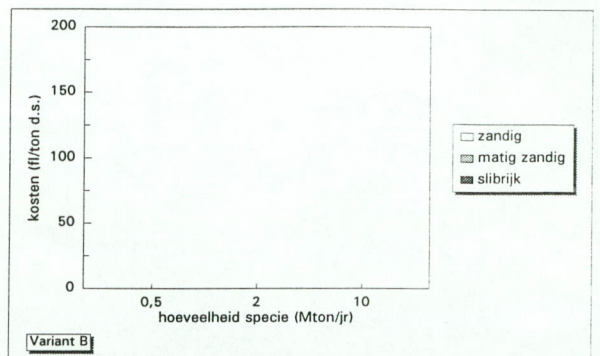
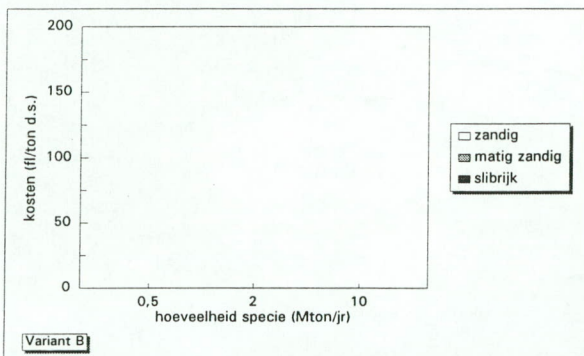
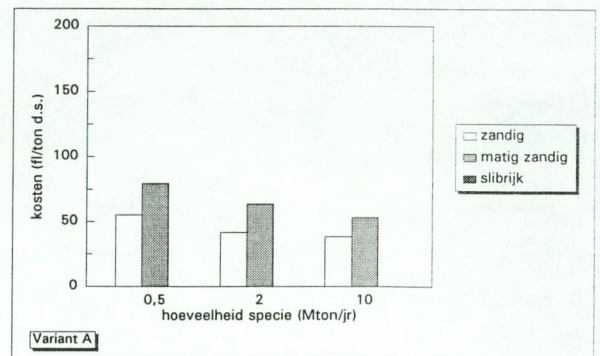
Aard van de verontreinigende stoffen:
 Verdeling van de verontreinigende stoffen:
 Ontwaterbaarheid:

mix org. stoffen en zware metalen
 onderloop schoon
 matig

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



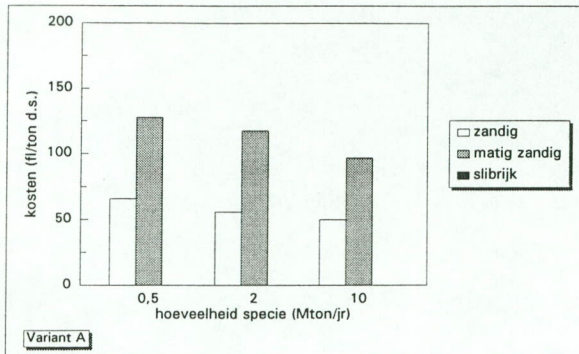
ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE



Aard van de verontreinigende stoffen:
Verdeling van de verontreinigende stoffen:
Ontwaterbaarheid:

mix org. stoffen en zware metalen
onderloop schoon
slecht

LICHT VERONTREINIGDE SPECIE



ZWAAR VERONTREINIGDE SPECIE

