

Beslissystematiek sanering waterbodems

Eindrapport

Referentienummer 91-113
Dossiernummer 112327-22790
Datum juli 1991
NP

Auteur
Ing. L.J.B. Koehorst

Trefwoorden
– waterbodems
– sanering
– beslissystematiek

Bestemd voor
Speerpuntprogramma Bodemonderzoek (SPB)
RIZA
TNO

Samenvatting

De sanering van waterbodems is pas de laatste jaren sterk in opkomst gekomen. Dit betekent dat afgezien van het baggeren er vrij weinig ervaring bestaat met het verwerken, reinigen en de grootschalige opslag van vervuilde baggerspecie. Ondanks het grote gebrek aan betrouwbare en gevalideerde gegevens komen bestuurders steeds vaker voor de keuze te staan om gegeven deze onzekerheden, uit de beschikbare saneringstechnieken de meest optimale oplossing te kiezen. Dit rapport geeft een eerste aanzet voor een handboek dat als leidraad kan worden gebruikt bij de sanering van vervuilde waterbodems. Op basis van het onderzoek dat tot nu toe is verricht is gestreefd om een beeld te schetsen van enerzijds de beschikbare informatie en anderzijds de benodigde gegevens die bij de keuze van het uiteindelijke saneringsalternatief een rol spelen.

In de hoofdstukken 4 tot en met 7 komen de volgende onderwerpen aan de orde:

- In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op een aantal primaire beslissingen die moeten worden genomen in geval van een vervuilde waterbodem. Aan de orde komen: de keuze tussen wel of niet saneren, de noodzaak tot het doen van onderzoek en afwegingen om in-situ of ex-situ technieken toe te passen. Deze primaire gegevens vormen de basis van de beslissystematiek.
- In hoofdstuk 5 wordt per bouwsteen in een toelichting globaal de inzetbaarheid aangegeven. Per bouwsteen worden vervolgens de mogelijke varianten met elkaar vergeleken op een aantal relevante criteria. In bijlage 2 wordt per bouwsteenvariant nader ingegaan op de inzetbaarheid, kosten, capaciteit en mogelijke gevolgen voor het milieu, gebruik van de omgeving en de gezondheid.
- In hoofdstuk 6 komt het samenstellen van relevante saneringsalternatieven aan de orde. Deze alternatieven worden met elkaar vergeleken op de volgende criteria:
 - kosten
 - toepasbaarheid
 - effecten
- In hoofdstuk 7 wordt de relatie gelegd met het project Beslissings Ondersteunend Systeem Sanering Verontreinigde Lokaties.

De hier gemaakte vergelijkingen vormen de eerste aanzet voor de uiteindelijke beslissystematiek. Gerealiseerd moet worden dat nadere invulling en validatie van de gegevens, die de basis vormen voor de gemaakte vergelijkingen, nodig zijn.

Hoewel vastgesteld wordt dat nog veel gegevens ontbreken die nodig zijn voordat een beslissystematiek feitelijk gerealiseerd kan worden, wordt geconcludeerd dat de gekozen opzet om te komen tot een dergelijke beslissystematiek, haalbaar is. De gekozen opzet sluit nauw aan bij het project voor de sanering van bodemverontreinigingen. Bij de realisatie van het beoordelingsgedeelte wordt geadviseerd om gebruik te maken van bestaande beslissingsondersteunende systemen.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

De volgende fase van dit project moet zich richten op het nader invullen van de ontbrekende gegevens. Hierbij ligt de nadruk op:

- Onderzoek naar de inzetbaarheid van de verschillende saneringstechnieken en de daaraan verbonden gevolgen.
- Onderzoek naar het vaststellen van de invloed van verontreinigingen op organismen.
- Het verder ontwikkelen van het beoordelingsgedeelte.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	6
2	Probleemstelling	8
3	Onderzoeksofzet	9
4	Aanzet voor de beslissystematiek, het maken van de eerste keuzes .	10
4.1	Nader onderzoek in relatie tot het saneringsonderzoek.....	10
4.2	De start van de beslissystematiek: Saneringsonderzoek.....	12
4.3	Het bepalen van het saneringsalternatief	14
4.4	Afweging in-situ saneren of de vervuilde waterbodem.....	17
	verwijderen	
5	Beschrijving van de toepasbaarheid van bouwstenen	18
5.1	Baggeren	19
5.2	Transporteren	23
5.3	Verwerken.....	23
5.4	Bergen.....	25
5.5	In-situ technieken	27
6	Samenstelling van mogelijke relevante saneringsalternatieven.....	29
7	Relatie met het project Beslissings Ondersteunend Systeem	33
	Sanering Verontreinigde Lokaties (ontleend aan [7])	
7.1	Relatie met beslissystematiek sanering waterbodems	34
8	Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek	36
9	Literatuur	38
10	Verantwoording	40

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Bijlage 1 Overzicht parameters nader onderzoek

Bijlage 2 Samenvatting van relevante aspecten per bouwsteen

- 2.1 Niets doen
- 2.2 In-situ saneringstechnieken
 - 2.2.1 In-situ immobilisatie
 - 2.2.2 In-situ isoleren
 - 2.2.3 In-situ reinigen
- 2.3 Baggeren
 - 2.3.1 Mechanisch baggeren
 - 2.3.2 Hydraulisch baggeren
 - 2.3.3 Mechanisch-hydraulisch baggeren
- 2.4 Verwerken
 - 2.4.1 Scheiding
 - 2.4.2 Ontwateren
 - 2.4.3 Reinigen:
 - 2.4.4 Extractie
 - 2.4.5 Immobilisatie
- 2.5 Transporteren
 - 2.5.1 Transport per pijpleiding
 - 2.5.2 Transport per schip
 - 2.5.3 Transport per as
- 2.6 Nuttig gebruik
- 2.7 Bergen
 - 2.7.1 Opslag op het land boven het grondwater:
 - 2.7.2 Opslag op het land onder het grondwaterniveau
 - 2.7.3 Onderwater opslag
- 2.8 Verspreiden

1 Inleiding

Vervuilde waterbodems vormen in Nederland een probleem van toenemende zorg. Door de ligging van ons land als eindpunt van een aantal grote waterwegen, het intensieve gebruik van deze waterwegen en de concentratie van bedrijven gelegen aan deze waterwegen is op zeer veel locaties sprake van een vervuilde waterbodem.

Met het besef dat vervuilde landlocaties moeten worden gesaneerd is de maatschappelijke en politieke druk om de vervuilde waterbodems op een verantwoorde wijze te saneren de laatste jaren sterk toegenomen. Financiële middelen zijn vrijgemaakt om het probleem te inventariseren en om onderzoek te doen naar verbetering van bestaande en ontwikkeling van nieuwe saneringsmethoden. Hierbij speelt een rol dat er met de sanering van waterbodems in tegenstelling tot de sanering van bodemverontreinigingen, weinig ervaring bestaat en dat een achterstand moet worden ingelopen.

Het Speerpunt Programma Bodemonderzoek (SPB), het RIZA en TNO hebben een gemeenschappelijk project opgezet om te komen tot de ontwikkeling van een beslissystematiek voor vervuilde waterbodems. Het beslissen op welke wijze een vervuilde waterbodem gesaneerd moet worden wordt door tal van factoren beïnvloed. Het project richt zich op het ontwikkelen van een methodiek die ondersteuning geeft aan dit beslisproces.

De eerste fase van dit project is gestart in 1988 met de ontwikkeling van een eerste aanzet tot een beslissystematiek. Dit had tot doel het concept van de beoogde systematiek te ontwerpen. Daarbij moest een uitspraak gedaan worden over de inhoudelijke haalbaarheid van de methodiek en de in de praktijk meest geschikte uitvoeringsvorm. Fase 1 van het onderzoek is methodisch van karakter en schrijft nog geen concrete keuzes of weegfactoren voor. Er wordt bijvoorbeeld nog niet aangeduid wanneer sanering noodzakelijk moet worden geacht of welke wijze van saneren de voorkeur verdient. Evenzo wordt in methodische zin over randvoorwaarden gesproken, maar niet in die zin dat bijvoorbeeld het principe van het herstellen van de multifunctionaliteit van de waterbodem voorop staat, zoals bij de Leidraad Bodemsanering. In de huidige tweede fase van dit project wordt hier nadere invulling aan gegeven.

Het project heeft tot dusver aandacht besteed aan een aantal hoofdkenmerken waarop de beslissystematiek is gebaseerd. De resultaten van dit onderzoek hebben tot de volgende rapportages geleid:

— Technologie:

Saneringsalternatieven kunnen zijn opgebouwd uit een of meerdere bouwstenen (elementaire saneringsoperaties) zoals baggeren, transporteren, verwerken etc. De rapportage beschrijft per bouwsteen: de algemene omschrijving, het toepassingsgebied, state of the art, milieu-aspecten, kosten en vereiste informatie.

— Effecten:

De rapportage beschrijft, naast een algemeen deel, de gevolgen van saneringsalternatieven in relatie tot de functie van de waterbodem en gerelateerde milieucompartimenten. Het rapport geeft een overzicht van relevante effectparameters ingedeeld naar tijd en plaats. Deze overzichten zijn voor een aantal bouwstenen opgesteld en hebben betrekking op de categorie volksgezondheid milieu en gebruikaspecten. (Een saneringsalternatief bestaat uit een of meerdere bouwstenen).

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Een effectparameter is bijvoorbeeld de vertroebeling in relatie tot de ecologische functie van het gebied op de korte termijn of de toename van de concentratie verontreiniging in het grondwater voor de functie waterwinning. Het onderzoek geeft niet aan hoe de scores van de effecten op de beschouwde categorie moeten worden bepaald. Het onderzoek is meer kwalitatief dan kwantitatief van aard.

— Bestuurlijk-juridische aspecten:

Naast een algemeen deel wordt voor een aantal bouwstenen (baggeren, verwerken en bergen) de relevante wet en regelgeving beschreven. Tevens wordt een uitwerking gegeven van de betreffende wetten en aanverwante regelgeving. Onderscheid wordt gemaakt tussen reeds genomen en nog te nemen besluiten. De bestuurlijke praktijk komt niet in concreto aan de orde.

Het voorliggende rapport betreft de afronding van de tweede fase, en richt zich op de integratie van het tot dusver uitgevoerde onderzoek. Hierbij worden de volgende onderwerpen beschouwd:

- In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op een aantal primaire beslissingen die moeten worden genomen in geval van een vervuilde waterbodem. Aan de orde komen, de relatie tussen het nader onderzoek en saneringsonderzoek, de noodzaak tot het doen van onderzoek, afwegingen om in-situ of ex-situ technieken toe te passen, het selecteren van relevante saneringsalternatieven. Deze primaire gegevens vormen de basis van de beslissystematiek.
- In hoofdstuk 5 wordt per bouwsteen in een toelichting globaal de inzetbaarheid aangegeven. Per bouwsteen worden vervolgens de mogelijke varianten met elkaar vergeleken op een aantal relevante criteria. In bijlage 2 wordt op basis van de resultaten van het reeds uitgevoerde onderzoek per bouwsteen een samenvatting gegeven van de:
 - inzetbaarheid
 - kosten
 - capaciteit
 - rendement (indien van toepassing)
 - gevolgen voor het milieu, gezond en de gebruiksfuncties van de omgeving die door de sanering wordt beïnvloed.
- In hoofdstuk 6 worden uit bouwstenen mogelijke saneringsalternatieven gegeneerd. Aangegeven wordt welke combinaties van bouwstenen tot reële saneringsalternatieven leiden. Tevens wordt per saneringsalternatief een overzicht gegeven van de kosten, de toepasbaarheid en wordt een kwalitatieve inschatting van de mogelijke gevolgen gegeven.
- In hoofdstuk 7 wordt de relatie gelegd met het project Beslissingen Ondersteunend Systeem Sanering Verontreinigde locaties.

2 Probleemstelling

Er bestaan op dit moment verschillende mogelijkheden om vervuilde waterbodems te saneren. Bij de keuze van de te gebruiken saneringstechnieken beperkt deze zich veelal tot de meest gangbare technieken, ook spelen de te verwachten milieueffecten momenteel nauwelijks een rol bij de uiteindelijke afweging. De beslissystematiek wordt een hulpmiddel bij toekomstige saneringen waarmee alle mogelijke saneringsalternatieven kunnen worden opgesteld. Deze worden daadwerkelijk onderzocht en vergeleken op hun haalbaarheid en gevolgen.

3 Onderzoeksopzet

Het uitgangspunt voor dit eindrapport zijn de resultaten die verkregen zijn uit de 2e fase van dit lopende onderzoek, dat is uitgevoerd in de periode september 1989 tot september 1990. Besloten is, om geen aanvullend onderzoek uit te voeren. Dit neemt niet weg dat, waar noodzakelijk ervaringen en resultaten uit ander onderzoek en beleidsnotities zijn gebruikt.

De ervaring uit het voorgaande onderzoek wordt gebundeld tot een aanzet voor een methodiek waarin wordt aangegeven welke criteria worden gehanteerd voor het vaststellen van bruikbare saneringsalternatieven. Waar mogelijk wordt aangegeven wat de mogelijke gevolgen hiervan zijn. Deze methodiek zal de grondslag vormen voor een beslissystematiek. De basis wordt gevormd door de bouwstenen zoals die beschreven zijn in het deelrapport saneringstechnieken [1]. Aangevuld met informatie van deskundigen, wordt aangegeven welke aspecten belangrijk zijn bij het bepalen van de uiteindelijke saneringsmethodiek. Bij het vaststellen van de aspecten per bouwsteen wordt uitgegaan van de huidige stand van de techniek. Praktische overwegingen zoals die in de praktijk worden ervaren spelen hierbij een belangrijke rol. De aspecten welke worden beschouwd zijn:

- De toepasbaarheid: Vermeld worden ervaringsfeiten over de technische toepasbaarheid van de bouwstenen. Waar mogelijk wordt gerefereerd aan geldende normen die door de overheid worden gesteld aan produkten die kunnen ontstaan.
- Kosten
- Capaciteit
- Rendement : Waar mogelijk wordt aangegeven wat het effect is van het toepassen van een bouwsteen op de te behandelen materie.
- Gevolgen op de volgende aspecten:
 - Milieu
 - Het gebruik van de door de sanering beïnvloede omgeving
 - Gezondheid.

Een bijzonder punt van aandacht is de relatie van de beslissystematiek met het project: Beslissings Ondersteunend Systeem voor de Sanering van Verontreinigde Lokaties (BOS-SVL), uitgevoerd door het Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit Amsterdam en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne te Bilthoven. Aangegeven wordt het raakvlak tussen beide methoden en de mogelijkheden voor verdere afstemming.

4 Aanzet voor de beslissystematiek, het maken van de eerste keuzes

De start van de beslissystematiek betekent het beantwoorden van twee vragen die bepalend zijn voor het verdere vervolg:

1. Moet er gesaneerd worden of is niets doen een vergelijkbare of betere oplossing.
2. Indien er gesaneerd wordt, moet de vervuilde waterbodem worden verwijderd of kan er in-situ worden gesaneerd.

4.1 Nader onderzoek in relatie tot het saneringsonderzoek

Voorafgaand aan het saneringsonderzoek, is uit het nader onderzoek komen vast te staan dat sanering noodzakelijk is. Alvorens nader in te gaan op het saneringsonderzoek zal de relatie met het nader onderzoek worden aangegeven. In bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van belangrijke parameters die in het nader onderzoek kunnen worden bepaald.

Als geconstateerd is dat een waterbodem vervuild is moet de beslissing worden genomen of gesaneerd moet worden of niet. Overwegingen om de vervuilde waterbodem te saneren dan wel te baggeren zijn:

1. Milieu-hygiënische redenen om een vervuilde waterbodem te saneren

De interimwet Bodemsanering (in de toekomst wordt dit de Wet Bodemsanering) geeft aan in welke gevallen sanering noodzakelijk is. Er is een wetsvoorstel ingediend om de Wet Bodemsanering uit te breiden met een regeling inzake waterbodems. De Leidraad Bodemsanering is een belangrijk instrument bij de uitvoering van bodemsaneringen. Momenteel wordt gewerkt aan een herziening van de Leidraad Bodemsanering om deze ook geschikt te maken voor vervuilde waterbodems.

De Leidraad Bodemsanering geeft aan dat een vervuilde waterbodem gesaneerd moet worden als er: 'ernstig gevaar voor de volksgezondheid of het milieu' bestaat. Directe schadelijke effecten van een vervuilde waterbodem op de volksgezondheid zijn in ons land nog nauwelijks geconstateerd [6]. Milieurisico's als gevolg van vervuilde waterbodems zijn wel duidelijk geconstateerd bijvoorbeeld in de vorm van fysieke afwijkingen aan planten en organismen, achteruitgang in de populatie-omvang of verhoogde sterfte.

Een belangrijk aspect bij het saneren van een vervuilde waterbodem is dat de verontreinigingsbronnen die de vervuiling van de waterbodem hebben veroorzaakt gesaneerd zijn. Saneren terwijl de verontreinigingsbronnen nog niet gesaneerd zijn (dweilen met de kraan open) heeft geen zin. Sanering kan in dat geval beter worden uitgesteld. Hierbij moet worden opgemerkt dat een gesaneerde lozing niet betekent dat de lozing tot nul is gereduceerd. Een beperkte emissie met mogelijk beperkte nadelige gevolgen voor de waterbodem blijft mogelijk maar wordt acceptabel geacht binnen de kwaliteitsnormen die door de overheid zijn opgesteld.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

In bijzondere gevallen kan er echter sprake zijn van verhoogd risico ten gevolge van:

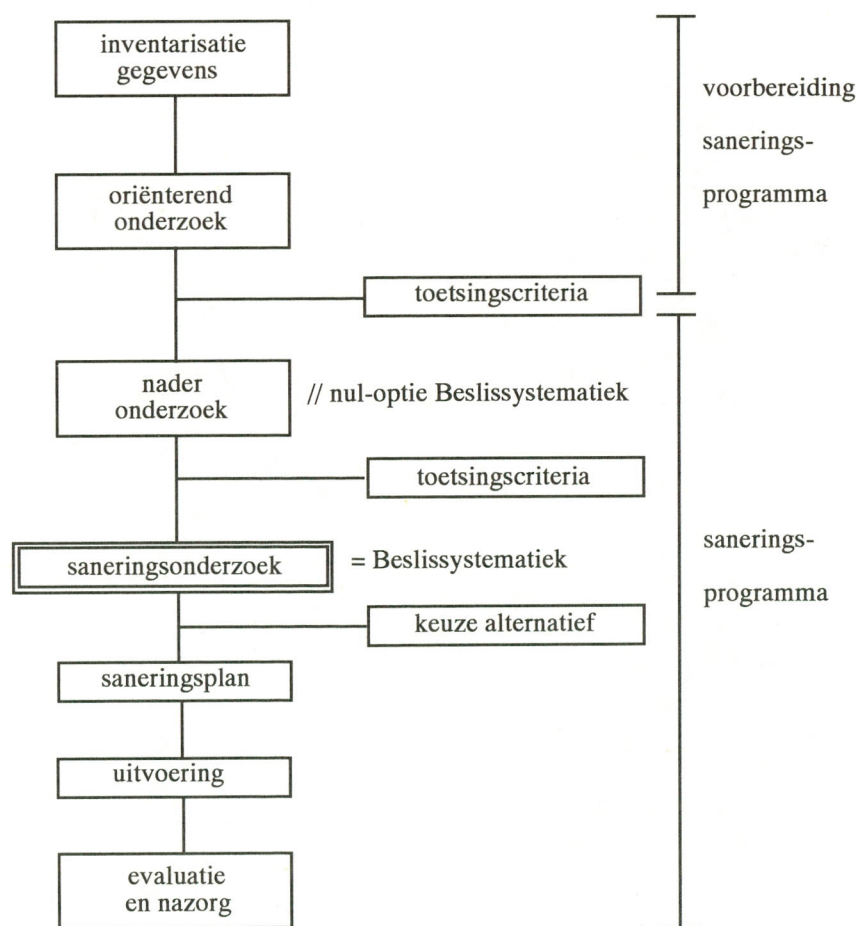
- Onomkeerbare gevolgen voor de omgeving. Bijvoorbeeld aantasting van het grondwater, bedreiging van visgronden, mosselkwekerijen etc.
- De effecten van de verspreiding van de verontreiniging.

In dergelijke situaties kan tot saneren van de waterbodem worden besloten hoewel de verontreinigingsbronnen niet zijn gesaneerd. Het effect van sanering zal dan echter tijdelijk zijn [12].

Als de verontreinigingsbronnen wel zijn gesaneerd kan niets doen ook een optie zijn. Overwegingen om (nog) niet te saneren zijn:

- Het ontbreken van een geschikt saneringsalternatief.
- Kosten.
- De natuurlijke sedimentatie waardoor de vervuilde waterbodem wordt afgedekt met een schone laag sediment die de vervuilde bodem isoleert.

In figuur 4.1 wordt schematisch de plaats van het nader onderzoek en saneringsonderzoek binnen de procedure beoordeling verontreinigde waterbodems aangegeven.



Figuur 4.1 Procedure beoordeling vervuilde waterbodems

De uitkomsten van het nader onderzoek worden getoetst aan de signaleringswaarden. Als de concentraties van verontreinigende stoffen de signaleringswaarden overschrijden, dient sanering te worden overwogen. In het saneringsonderzoek wordt een vergelijking gemaakt van verschillende saneringsalternatieven. Bij het maken van deze vergelijking zal de beslissystematiek een belangrijk hulpmiddel worden.

2. Nautische of hydrologische redenen die ingrijpen noodzakelijk maken

Los van saneren is er de mogelijkheid dat er om nautische of hydrologische redenen moet worden ingegrepen. Economische overwegingen (bereikbaarheid van havens en industriegebieden) spelen hierbij een belangrijke rol. Ook de afvoer van water moet worden gewaarborgd om schade tengevolge van veranderende grondwaterstand, overstromingen etc. te voorkomen. Bovengenoemde overwegingen gelden ook voor niet vervuilde waterbodems en leiden per definitie tot het verwijderen van de waterbodem.

In de praktijk wordt het baggeren beperkt of uitgesteld omdat er geen mogelijkheden voor berging bestaan. Dit veroorzaakt een achterstand in het onderhoudsbaggeren. Voor de toekomst wordt voorzien dat er grote beheersbare baggerdepots zullen komen om de hoeveelheid bagger te bergen.

4.2 De start van de beslissystematiek: Saneringsonderzoek

Als uit het nader onderzoek blijkt dat sanering dringend gewenst is, dan is aanvullend onderzoek nodig om inzicht te krijgen in:

- De geschiktheid van een bepaalde saneringsmethode.
- Het te behalen rendement.
- De kosten.
- De concentraties overblijvende restvervuiling.

Op basis van deze gegevens kan een schatting worden gemaakt van de bereikte risicoreductie als gevolg van de sanering van de vervuilde waterbodem. Dit kan worden afgewogen tegen de risico's van het laten liggen van de vervuilde waterbodem.

In het nader onderzoek wordt getracht de aard en de omvang van de verontreiniging zo goed mogelijk vast te stellen. Aanvullend onderzoek in het saneringsonderzoek kan echter nodig zijn en richt zich vaak op:

- het exacter vaststellen van de begrenzing van de verontreiniging ter bepaling van de hoeveelheid te verwijderen materiaal;
- onderzoek naar de toepasbaarheid van verwerkingsmogelijkheden op laboratorium of pilot schaal;
- opname van dwarsprofielen en slibdiktemetingen.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Belangrijke parameters die in het saneringsonderzoek kunnen worden vastgesteld zijn:

1. Met betrekking tot het sediment

Verdeling verontreiniging over zand en slibfractie	—
Volume verontreinigd sediment	m ³
Prognose sedimentkwaliteit	mg/kg

2. Met betrekking tot het oppervlaktewater

Verontreinigd oppervlak van het water	ha
Biochemisch zuurstofverbruik	µg/liter
Waterstand	meter
Vertroebeling doorzicht	meter
Prognose aard verontreinigende stoffen in oppervlaktewater als gevolg van nalevering	—
Prognose oppervlaktewaterkwaliteit als gevolg van nalevering uit waterbodembodem	µg/liter

3. Met betrekking tot het grondwater

Volume verontreinigd grondwater	m ³
Prognose aard verontreinigende stoffen in grondwater als gevolg van uitloging en infiltratie	—
Prognose grondwaterkwaliteit als gevolg van uitloging en infiltratie	µg/liter

4. Met betrekking tot bouwsteeneigenschappen

Type baggerinstallatie	—
Capaciteit baggerinstallatie (gemiddeld)	m ³ /uur
Bronsterkte baggerinstallatie	dB (A)
Mors baggerinstallatie	kwalitatief
Omvang baggerinstallatie	kwalitatief
Nauwkeurigheid baggersysteem	cm
Aard transport	—
Geluidemissies transport	dB (A)
Morsen tijdens overslag	kwalitatief
Lekkage tijdens transport	kwalitatief
Gassen (methaan en H ₂ S)	%
Stankemissie specie	kwalitatief
Scheidingsefficiëntie E _{ds}	%
Scheidingsefficiëntie E _x	%
Reinigingseffect	%
Stankemissie installatie	ge/m ³ perc.
Geluidemissie installatie	dB (A)
Stofuitstoot (fijn/grof)	µg/m ³

5. Met betrekking tot effectparameters

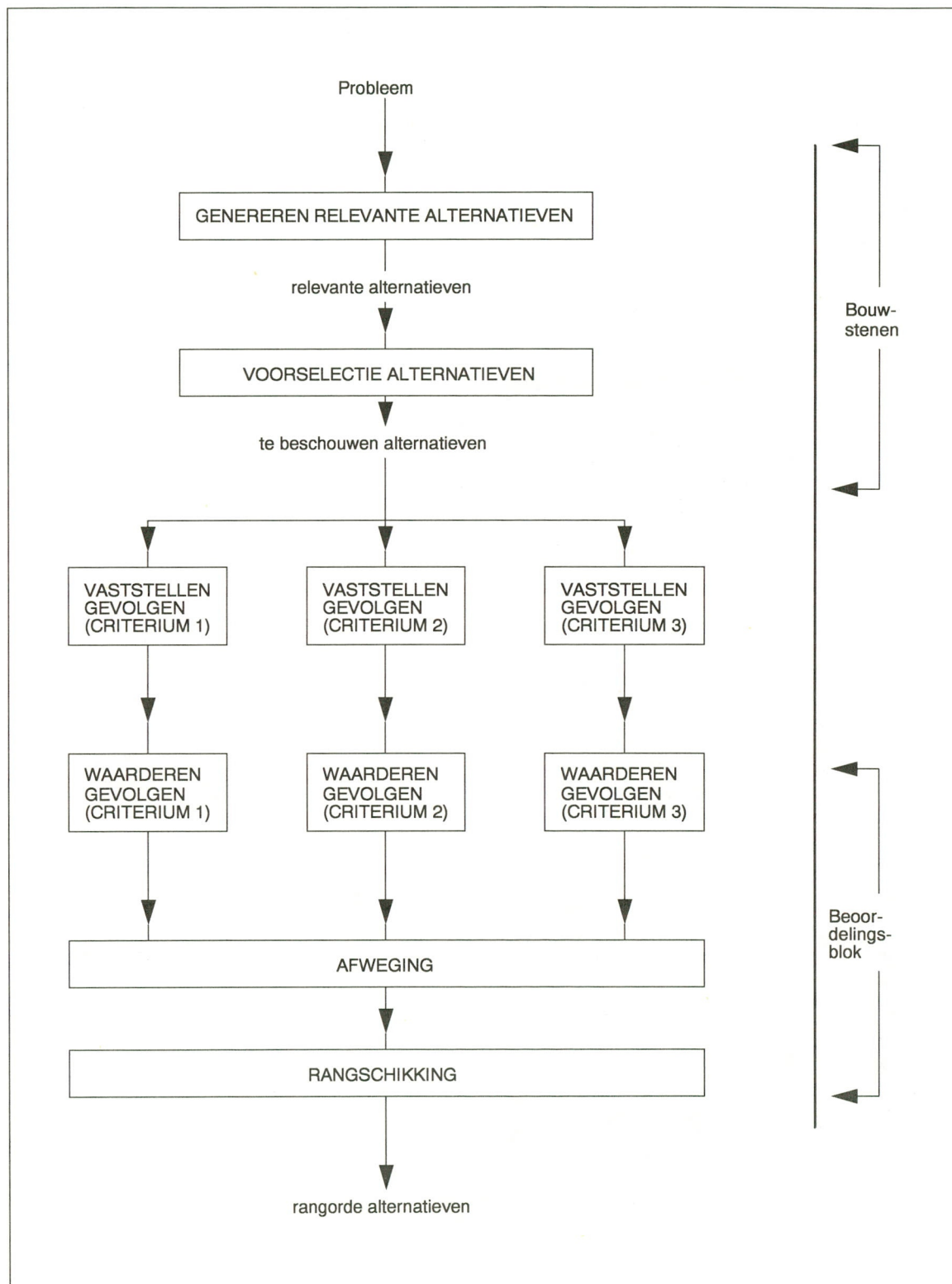
Beperking vaardiepte	meter (decimaal)
Vertroebeling	kwalitatief
Zuurstofgehalte tijdens baggeren	mg/liter
Omvang beïnvloed waterrecreatie gebied (vertroebeling)	ha
Omvang geluidbeïnvloed woon- en recreatiegebied	ha
Omvang stankbeïnvloed woon- en recreatiegebied	ha
Verstoring vogelbroedgebieden (geluid)	kwalitatief
Verstoring aquatische biota (vertroebeling)	kwalitatief
Sluitingsduur waterwinpunt drinkwater oppervlaktewater	dagen
Beperkingen vaarbewegingen	kwalitatief
Tijdsduur baggerwerkzaamheden	dagen
Energieverbruik baggeren	MJ/m ³ specie
Benodigde hoeveelheid perswater	liter/m ³ specie
Risico van oppervlaktewater- en bodemverontreiniging	kwalitatief
Energieverbruik	MJ/m ³ specie
Aard stoffen in vaste bulk reststroom	—
Concentratie stoffen in bulk reststroom	mg/kg
Aard stoffen in fijne restfractie	—
Concentratie stoffen in fijne restfractie	mg/kg
Aard stoffen in grove restfractie	—
Concentraties toffen in grove restfractie	mg/kg
Consistentie restfractie	kwalitatief
Gehalte organische stof restfractie	%
Gehalte calciestof restfractie	%
pH-KC I restfractie	dimensieloos
Volumereductie	%
Oppervlak voor installatie	ha
Aard stoffen in afvalwater	—
Concentratie stoffen in afvalwater	µg/liter
Aard stoffen in emissiegassen	—
Concentratie stoffen in emissiegassen	µg/m ³

Het is duidelijk dat bij het uitvoeren van een dergelijk uitgebreid onderzoek aanzienlijke kosten kunnen zijn gemoeid. Hier staan echter ook baten tegenover zoals:

- mogelijk lagere verwerkingskosten,
- lager bergingskosten,
- grotere kans van slagen van een eenmaal gekozen saneringsaanpak.

4.3 Het bepalen van het saneringsalternatief

Saneringsalternatieven kunnen bestaan uit een, op zichzelf staande bouwsteen of combinatie van bouwstenen. In het onderdeel bouwstenen van figuur 4.2 wordt aangegeven dat, uitgaande van alle mogelijke saneringsalternatieven er een tweetal selecties gemaakt worden die resulteren in de te beschouwen saneringsalternatieven.

*Figuur 4.2 Schema van de beslissystematiek*

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

De eerste selectie heeft tot doel om uit het totaal van alle mogelijke saneringsalternatieven een zodanige keus te maken dat alleen relevante saneringsalternatieven overblijven. Onder relevante alternatieven wordt verstaan, die technieken die, gegeven de lokale omstandigheden en de aard van de verontreinigingen in **principe toepasbaar** zijn. Saneringsalternatieven die uitgaan van technieken die niet toepasbaar zijn worden hierdoor uitgesloten.

Voor het bepalen van de toepasbaarheid van een bepaalde techniek moeten reeds in dit stadium de gegevens uit het nader onderzoek beschikbaar zijn. Deze kunnen in twee hoofdgroepen worden ingedeeld:

1. Gegevens over de lokale omstandigheden
2. Gegevens over de aard van de verontreinigingen.

ad. 1. Lokale omstandigheden:

De volgende gegevens bepalen in grote mate de capaciteit van het in te zetten baggermateriaal.

- De omvang van de verontreinigde waterbodem (m^3), bepaalt de benodigde capaciteit.
- De dikte van de vervuilde waterbodem (m), bepaalt onder andere de nauwkeurigheid.
- De bereikbaarheid van de locatie, bepaalt de grootte van het te gebruiken materiaal.
- De toegankelijkheid van de verontreiniging, bepaalt het type in te zetten baggermateriaal.

ad. 2. De aard van de verontreiniging:

Veel saneringstechnieken zijn slechts geschikt voor een bepaalde soort verontreinigingen. Op hoofdlijnen kan onderscheid worden gemaakt in technieken die geschikt zijn voor:

- Waterbodems verontreinigd met zware metalen.
- Waterbodems verontreinigd met (afbreekbare) organische verontreinigingen.
- Waterbodems verontreinigd met zware metalen en organische verontreinigingen (cocktailverontreiniging).

Een aparte groep vormen de waterbodems vervuild met nutriënten.

Deze blijven buiten beschouwing. Gegevens over de aard van de verontreiniging en de aanwezige concentraties zijn in belangrijke mate bepalend voor de toepasbaarheid van de verschillende verwerkingstechnieken.

Het resultaat van de eerste selectie is een aantal in principe toepasbare saneringstechnieken. Indien er een groot aantal technieken over is gebleven wordt er een tweede selectie gemaakt. Deze tweede selectie gebeurt op basis van aanvullende criteria zoals:

- De technische uitvoerbaarheid van de saneringstechnieken in de gegeven situatie (dit kunnen aanvullende gegevens zijn over het voorkomen van de verontreiniging in de waterbodem, aanwezigheid van belemmerende factoren etc.).
- Kosten
- Capaciteit
- Rendement van het toepassen van een bouwsteen op het gedrag van het te behandelen materiaal
- Gevolgen voor mens en milieu.

Op deze wijze worden saneringsalternatieven met extreme kenmerken (bijvoorbeeld hoge kosten, laag rendement, storingsgevoelig etc.) uitgesloten.

Overblijven een aantal vergelijkbare saneringsalternatieven met ieder hun sterke en zwakke kanten. In het nog nader in te vullen beoordelingsblok van de beslissystematiek (zie figuur 4.2) moeten deze worden gekwantificeerd en gewogen worden, waarna er een definitieve keuze kan worden gemaakt.

4.4 Afweging in-situ saneren of de vervuilde waterbodem verwijderen

De keuze om de vervuilde waterbodem te baggeren wordt bepaald door de noodzaak om uit nautische of waterhuishoudkundige redenen een vaarweg op diepte te houden. Indien deze overwegingen geen rol spelen dan is er sprake van saneren uit milieu-hygiënische overwegingen. Hierbij staat de keuze tussen baggeren of in-situ saneren open.

Enige algemene overwegingen bij in-situ technieken v.s. baggeren.

Algemeen:

- In-situ technieken kunnen alleen worden toegepast als er geen noodzaak bestaat om uit nautische of hydrologische redenen te saneren.
- In-situ saneren heeft alleen zin als de verontreinigingsbronnen, verantwoordelijk voor de vervuilde waterbodem, gesaneerd zijn.
- In-situ saneren wordt toegepast om milieu-hygiënische redenen. Welke criteria hierbij van doorslaggevend belang zijn is niet duidelijk. Harde normen die de noodzaak aangeven wanneer een waterbodem om milieu-hygiënische redenen moet worden gesaneerd bestaan (nog) niet.
- De stand van de techniek is bepalend voor het toepassen van in-situ saneringstechnieken.

Voordelen:

- Kosten zijn in het algemeen lager dan de som van de verwijderings-, verwerkings- en bergingskosten.
- Er is geen ruimte nodig voor berging.
- De indruk bestaat dat er zekere mate van acceptatie voor deze technieken bestaat. In-situ technieken worden als minder bedreigend voor het directe leefmilieu gezien in vergelijking met ex-situ technieken.

Nadelen:

- Er bestaat slechts incidentele praktijkervaring met in-situ saneringstechnieken.
- In-situ isolatie- en immobilisatietechnieken vereisen voortdurende nazorg en monitoring.
- Resultaten van in-situ technieken kunnen vrijwel niet in kleinschalige pilot-experimenten worden onderzocht, waardoor het effect moeilijk te voorspellen is.
- De lange termijn effecten zijn onbekend met name voor die technieken waarbij extra stoffen aan de waterbodem worden toegevoegd.

5 Beschrijving van de toepasbaarheid van bouwstenen

Het doel van dit hoofdstuk is ten behoeve van de beslissystematiek, een overzicht te krijgen van benodigde en beschikbare gegevens. Per bouwsteen wordt een beschouwing gegeven van aspecten die de inzet van een bouwsteen kunnen bepalen. In tabelvorm zal de score van de verschillende bouwsteenvarianten op een aantal criteria worden weergegeven.

In bijlage 2 wordt vervolgens per bouwsteen en waar nodig per variant, nader invulling gegeven aan de volgende criteria:

- De inzetbaarheid van de bouwsteen.
Hierin wordt aangegeven de algemene voorwaarden voor toepassing van de bouwsteen. De geschiktheid voor bepaalde type verontreinigingen, de uitvoerbaarheid van de techniek etc.
- Kosten,
- Capaciteit (niet voor alle bouwstenen relevant),
- Rendement (niet voor alle bouwstenen relevant),
- Gevolgen gericht op:
 - mogelijke milieu-effecten,
 - ten aanzien van het gebruik van de waterbodem of de hiermee in verbinding staande omgeving,
 - gezondheid.

De in bijlage 2 gepresenteerde informatie is een samenvatting van de meest relevante aspecten die bekend zijn geworden uit het tot nu toe uitgevoerde onderzoek. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar [1] voor de saneringstechnieken en naar [2] voor de effectbepaling.

Met betrekking tot de effectbepaling moet worden opgemerkt dat, een kwantificering van de milieu-effecten van, het toepassen van bouwstenen of saneringsalternatieven op dit moment niet mogelijk is. De ervaring met saneringsprojecten van vervuilde waterbodems is op dit moment te summier om hieraan betrouwbare gegevens te kunnen ontleen. De kwantificering van effecten spitst zich toe op twee knelpunten namelijk:

1. De restconcentraties verontreinigingen die na het uitvoeren van een sanering achterblijven zijn onbekend. Bij de verschillende baggermethoden bestaat nog onvoldoende inzicht in concentraties verontreinigingen die ontstaan door mors, opwerveling en verspreiding.
2. De vertaling van concentraties verontreinigende stoffen naar mogelijke effecten op organismen is op dit moment een moeilijk punt. Momenteel wordt onderzoek op laboratoriumschaal uitgevoerd, waar onder geconditioneerde omstandigheden de invloed van diverse soorten verontreinigingen wordt bepaald op diverse soorten organismen. Dit onderzoek moet de eerste aanzet vormen om in praktijksituaties het effect te voorspellen van de verontreinigingen op de aanwezige organismen. Hierbij moet worden opgemerkt dat toetsen aan normen wel een mogelijkheid is, maar dat (totaal) gehalten niet alles zeggen. Ook uitlooggedrag moet worden onderzocht (bijvoorbeeld van geïmmobiliseerde verontreinigingen).

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Bij de sanering van vervuilde waterbodems zijn veel gegevens over de uitvoerbaarheid, het rendement en de uiteindelijke gevolgen onbekend. Dit blijkt ook uit bijlage 2. Ondanks het gebrek aan dergelijke gegevens moet uiteindelijk toch worden beslist hoe een vervuilde waterbodem moet worden gesaneerd. De uiteindelijke beslissingen worden genomen op basis van criteria die wel bekend zijn of die beter kunnen worden ingeschat dan de hiervoor genoemde criteria. Factoren waarop men (deels) invloed heeft zoals:

- kosten (prijs opgaaf van aannemer, inrichten van locatie etc.),
 - tijd,
 - urgentie (politieke prioriteit, maatschappelijke druk),
- kunnen voor een groot deel de uiteindelijke beslissing bepalen.

De niet te kwantificeren criteria worden thans zo goed mogelijk ingeschat en hun belang wordt zo mogelijk afgewogen tegen andere criteria. Maar dit is geen garantie dat men uiteindelijk binnen de beschikbare ruimte en mogelijkheden tot de beste beslissing komt.

De afweging tussen verschillende alternatieven op technische gronden is moeilijk en hangt van veel factoren af. Toch is een objectieve vergelijking tussen de verschillende bouwstenen gewenst. Als eerste aanzet daartoe worden de tabellen 5.1 tot en met 5.6 gepresenteerd. Gerealiseerd moet worden dat de feitelijke onderbouwing van deze tabellen voor discussie vatbaar is. Sterker nog, deze discussie is gewenst om meer en beter inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van de bouwstenen onder verschillende omstandigheden.

Afgezien van de in-situ technieken, die vrijwel 'stand-alone' worden toegepast bestaat een saneringsalternatief uit een aantal bouwstenen. Om beslissers in staat te stellen bij het generen van een saneringsalternatief de voor- en nadelen van de verschillende bouwstenen en hun varianten tegen elkaar af te wegen wordt per bouwsteen een overzicht gegeven van criteria die voor de beslissers relevant kunnen zijn. Hieronder volgt per bouwsteen een toelichting op de tabellen.

5.1 Baggeren

Toelichting:

Voor baggeren van niet verontreinigde waterbodems wordt zo groot mogelijk baggermateriaal gebruikt, bij een zo groot mogelijke capaciteit om zo de kosten te beperken. Baggeren van vervuilde waterbodems vraagt echter een andere benadering. De nauwkeurigheid, mors en vertroebeling wordt sterk positief beïnvloed door te baggeren met een lagere productiecapaciteit. Indien milieuvriendelijk baggeren een vereiste is dan moeten de overige randvoorwaarden, kosten en tijd, zodanig worden gekozen dat baggeren met een verlaagde productiecapaciteit mogelijk is.

Op dit moment is de afweging tussen de voordelen en de nadelen van het baggeren met een beperkte capaciteit nog moeilijk. Financieel bekeken moeten hogere kosten in het beginstadium van de saneringsoperatie worden afgewogen tegen lagere kosten bij de verwerking en de uiteindelijke berging van de baggerspecie. In tabel 5.1 wordt hiervan een voorbeeld gegeven.

Tabel 5.1 Kosten normaal en nauwkeurig baggeren met elkaar vergeleken
(ontleend aan [4])

Omschrijving	Normaal baggeren	Nauwkeurig baggeren	Eenheden
Laagdikte verontreinigde specie	20	20	cm
Hoeveelheid verontreinigde specie	1000	1000	m ³
Normale overdiepte ¹⁾	10		cm
Overdiepte bij nauwkeurig baggeren		5	cm
Extra te verwijderen	500	250	m ³
Te baggeren/te reinigen	1500	1250	m ³
Baggerkosten	10	25	f/m ³
Reinigingskosten	200	200	f/m ³
Totale kosten	315000	281250	f

- 1) Overdiepte is dat gedeelte van de schone ondergrond die wordt weg gebaggerd samen met het verontreinigde sediment

Naast de financiën spelen echter nog meer factoren een rol bij de afweging tussen normaal en nauwkeurig baggeren, die als volgt kunnen worden samengevat:

Voordelen:

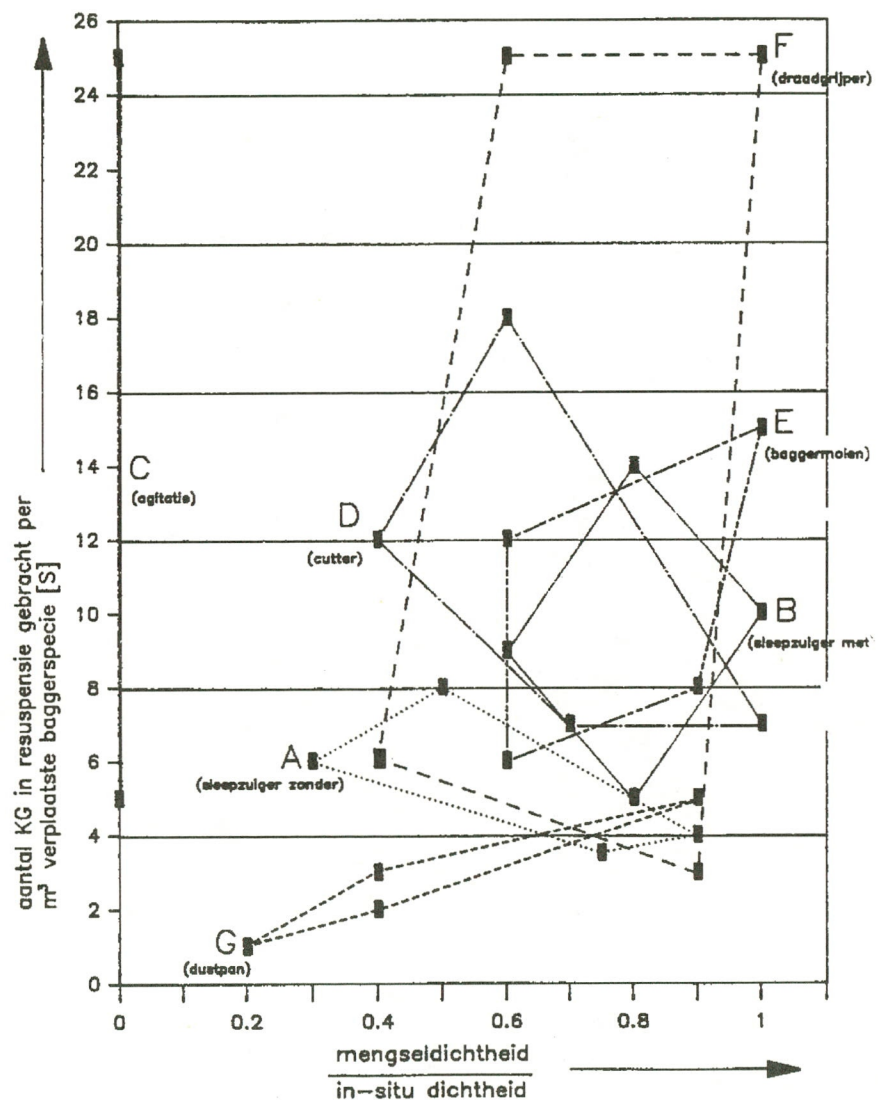
1. Minder verspreiding en mors van de verontreinigingen tijdens het baggeren waardoor geringere nadelige milieu-effecten optreden.
2. De hoeveelheid schoon sediment dat gebaggerd wordt, wordt beperkt.
3. De menging van schoon sediment met verontreinigde specie wordt zoveel mogelijk voorkomen. Hierdoor worden de verwerkingskosten (aanzienlijk) lager.
4. Geringere of kleinschaliger problemen bij de berging van baggerspecie omdat de totale hoeveelheid baggerspecie kleiner wordt.

Nadelen:

1. Hogere kosten, door het minder efficiënt gebruik van het materiaal.
2. Er worden hogere eisen gesteld aan het in te zetten materiaal en het bedienend personeel.
3. Meer tijd is nodig om de sanering uit te voeren.
4. Meer overlast voor de gebruikers van het water (scheepvaart, visserij, recreatie etc.) door langdurige hinder.

De vertroebeling die ontstaat bij de verschillende bagger technieken, moet worden gerelateerd aan de vertroebeling tengevolge van de aanwezige stromingen en scheepvaart.

In figuur 5.1 (overgenomen uit [11]) wordt een overzicht gegeven van de resultaten van metingen naar vertroebeling die ontstaat bij verschillende baggertechnieken. Gebaseerd op de metingen, aangevuld met de openbare literatuur, en de kennis van de baggernemers kan globaal worden aangegeven hoe de conventionele baggertechnieken zich met betrekking tot vertroebeling tot elkaar verhouden. Het figuur is gebaseerd op baggeractiviteiten in zoutwateromgeving.



Figuur 5.1 Troebelheidsmeting bij verschillende baggertechnieken
(overgenomen uit [11])

Bij de uiteindelijke keuze van de baggermethode moeten boven genoemde factoren tegen elkaar worden afgewogen. Hoe de verschillende factoren ten opzichte van elkaar worden gewaardeerd kan hier niet worden aangegeven. De waardering zal van geval tot geval moeten worden gemaakt en kan sterk afhankelijk zijn van lokale omstandigheden. In bijlage 2.3 wordt hierin nader op ingegaan.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Tabel 5.2 Overzicht toepasbaarheid baggermethoden, bewerkt naar [1], [4] en [11]

	Vertroebeling	Mors	Nauwkeurigheid	In-situ	Kosten
Mechanisch:					
Emmermolen	+/-	0	+	+++	0
Grijper (mech.armen)	++/0	+	++	+++	-
Grijper (met draden)	++/--	+	++	++	-
Dieplepel	+/0	+	++	-	-
Hydraulisch					
Sleephopperzuiger	+/-	++	-	0	++
Profielzuiger	++/0	--	---	--	+
Mechanisch/hydraulisch					
Cutterzuiger	+/--	-	--	-	+

Verklaring voor de kenmerken nauwkeurigheid/in-situ:		Verklaring voor de kenmerken vertroebeling, mors en kosten	
+++	bijzonder groot/bijzonder geschikt	++	bijzonder gunstig
++	erg groot/erg geschikt	+	gunstig
+	groot/geschikt	0	neutraal
0	matig/neutraal	-	ongunstig
-	klein/beperkt geschikt	--	bijzonder ongunstig
--	erg klein/minder geschikt		
---	minimaal/ongeschikt		

Opmerking bij tabel 5.2

De scores in de tabel gaan uit van het gebruik van standaard werktuigen onder normale omstandigheden, met een gemiddelde bemanning en een gemiddelde productiecapaciteit.

Vertroebeling is afhankelijk van een groot aantal factoren waarvan de belangrijkste zijn:

in-situ dichtbijheid, productiecapaciteit en eventueel aangebrachte voorzieningen. Daar waar mogelijk is een schatting gegeven van de ranges van de te verwachten vertroebeling.

Onder in-situ wordt aangegeven of een baggerwerktuig in staat is om de specie te verwijderen volgens de dichtheid die op de locatie wordt aangetroffen. Met name de hydraulische baggermethoden maken het bijmengen van water noodzakelijk. Dit wordt als negatief beoordeeld omdat in een later stadium bij de verwerking van de baggerspecie dit water weer tegen relatief hoge kosten moet worden verwijderd.

5.2 Transporteren

Toelichting:

Het kiezen van de transportvorm wordt bepaald door de afstand en de aard van de te transporteren baggerspecie. De afstand bepaalt in grote mate de kosten terwijl de aard van de baggerspecie sterk bepalend is voor de transportvorm. Bijvoorbeeld: Met een grijperkraan verwijderde specie zal niet per pijpleiding worden getransporteerd. Behoudens calamiteiten kunnen de te verwachte effecten op zowel milieu, gebruik en gezondheid worden verwaarloosd.

Tabel 5.3 Overzicht van de verschillende transportvormen

	Inzetbaarheid	Toepasbaarheid	Capaciteit	Afstand	Kosten
Pijpleiding	++	o	++	+	-
Schip	+	++	+	++	+
As	o	+	o	o	o
Verklaring kosten		Verklaring voor alle overige kenmerken:			
+	goedkoop	++	zeer groot		
o	neutraal	+	groot		
-	duur	o	beperkt		

Opmerking bij tabel 5.3.

Inzetbaarheid geeft een indruk omtrent de bruikbaarheid van de transportvorm onder verschillende omstandigheden (grootschalig, kleinschalig).

Onder toepasbaarheid wordt verstaan de geschiktheid om specie van verschillende dichtheden te transporteren.

5.3 Verwerken

Toelichting:

In vergelijking met baggeren en transporteren zijn er over verwerkingstechnieken minder gegevens bekend. Dit geldt zowel voor de inzetbaarheid als voor de mogelijke effecten. De onbekendheid omtrent de inzetbaarheid (effectiviteit, restconcentraties etc.) van de verschillende technieken maakt het erg moeilijk om deze op een verantwoorde wijze tegen elkaar af te wegen. De afweging zal van geval tot geval moeten plaatsvinden omdat de aard en de concentraties van de verontreinigingen in sterke mate de inzetbaarheid bepalen. De effecten op de gezondheid zijn onbekend maar kunnen in principe aanwezig zijn.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Hierbij wordt met name gedacht aan het contact met verontreinigingen tijdens het verwerkingsproces.

Milieueffecten kunnen optreden door emissies naar bodem, lucht en water. Gegevens hierover zijn nog vrijwel niet voorhanden.

Tabel 5.4 Overzicht van de verwerkingstechnieken

	Uitvoerbaarheid	Inzetbaarheid	Rendement	Capaciteit	Kosten	Rest vervuiling	Bewerking reststroom
Hydrocyclonage	+	o	+	+	+	-	-
Ontwateren	+	+	+	o	+	-	o
Biologisch reinigen	o	o	o/+	o	o	o	+
Thermisch reinigen	+	+	-/o	o	o	o	+
Extractie	-/o	-	o	o	-	-	o
Immobiliseren	-/o	+	o/-	o	--	+	+

Verklaring per kenmerk:

Uitvoerbaarheid	+ operationeel o toegepast op pilotschaal - beproefd op laboratoriumschaal	Kosten	+ goedkoop o neutraal - duur
Inzetbaarheid	+ in veel situaties o beperkt to bepaalde groepen verontreinigingen/bodems - incidenteel	Restvervuiling	+ vrijwel geen o specifieke groep verontreinigingen blijft over - er ontstaan reststromen met een ver- hoogde concentratie aan veront- reinigingen
Rendement en Capaciteit	+ groot o beperkt - laag	Bewerking reststromen	+ niet nodig o nodig op beperkte schaal of afhankelijk van de situatie - speciale behandeling/voorzieningen nodig

Opmerking bij tabel 5.4.

Restvervuiling geeft een indicatie voor het ontstaan/overblijven van verontreinigingen.

Bewerking reststromen geeft aan of er eventueel sprake is van extra inspanning om vervuilde reststromen te behandelen.

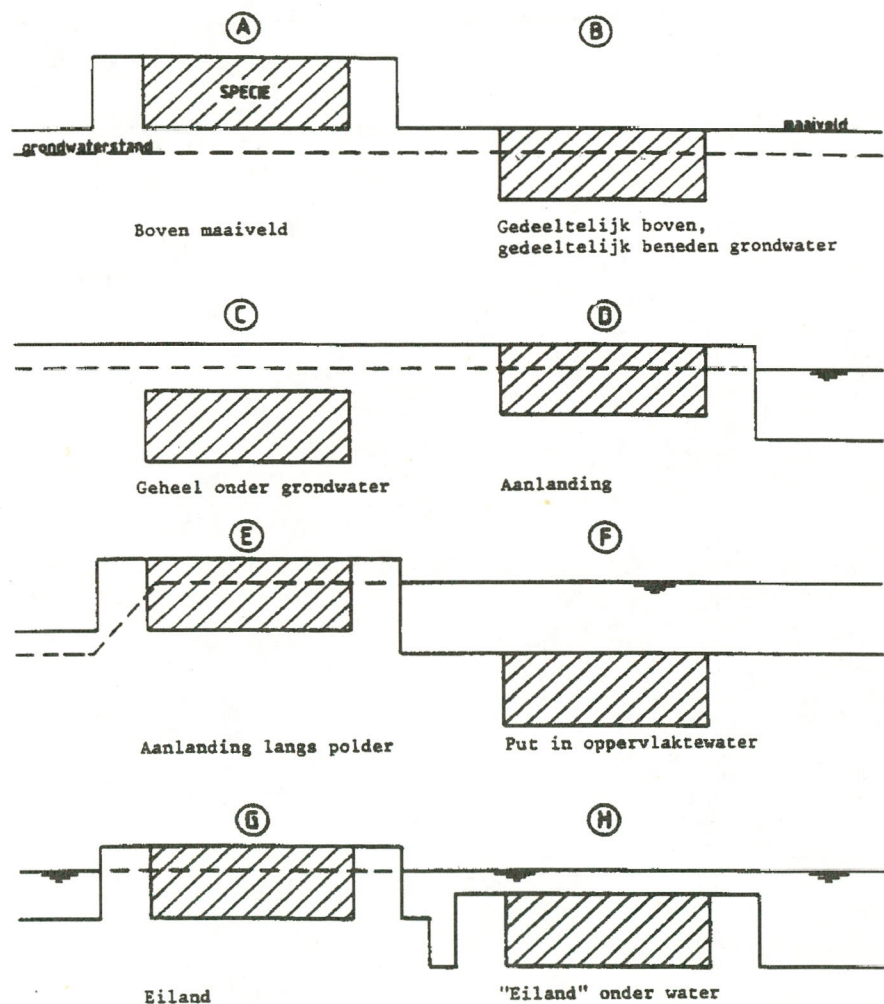
5.4 Bergen

Toelichting:

Het ziet er niet naar uit dat in de nabije toekomst de verwerking van verontreinigde specie op een zo grote schaal kan plaatsvinden dat bergen niet meer noodzakelijk is. Locaties voor de berging van verontreinigde baggerspecie zullen daarom nodig blijven. Hierbij bestaat op hoofdlijnen de volgende twee mogelijkheden:

1. Opslag boven het maaiveld
2. Opslag onder (grond)water.

Voor beide mogelijkheden is er een aantal varianten mogelijk. Deze zijn in figuur 5.2 weer gegeven



Figuur 5.2 Overzicht van mogelijke bergingsvarianten (ontleend aan [1])

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Bij bergen staat voorop dat verspreiding van verontreinigingen uit het depot naar de omgeving toe zoveel mogelijk moet worden beperkt. Bij definitieve opslag zijn daarom isolerende voorzieningen noodzakelijk. De mogelijkheden om de verspreiding van verontreinigingen vergaand terug te dringen zullen uiteindelijk de keuze bepalen voor een bepaalde wijze van bergen. De normen en criteria die worden gesteld aan baggerspeciedepots zijn momenteel in ontwikkeling bij de verantwoordelijke departementen en zullen worden neergelegd in de landelijke beleids-MER berging baggerspecie.

Bij bergen van verontreinigde specie zijn vooral de lange termijn effecten van belang. Aantasting van de omringende bodem en het grondwater kan niet worden uitgesloten en via deze route kunnen ook nadelige effecten gaan optreden ten aanzien van bijvoorbeeld waterwinning en gebruik van landbouwgronden. Kwantitatieve gegevens zijn op dit moment echter niet beschikbaar.

Tabel 5.5 Overzicht van de bergingsvarianten bewerkt en aangevuld naar [1]

	Acceptatie	Verspreiding		Beheersbaarheid	Nazorg	Kosten
		Kwel	Infiltratie			
Boven maaiveld	--	o	o	++	--	--
Gedeeltelijk boven en onder maaiveld	--	--	-	o	-	+
Geheel onder grondwater	o	+	+	--	++	+
Aanlandig	-	--	-	o	-	o
Aanlandig langs polder	-	---	-	o	o	o
Put in oppervlaktewater	o	++	+	--	+	++
Eiland	o	-	--	+	o	--
Eiland onder water	o	++	+	-	o	-

Verklaring verspreiding en nazorg:		Verklaring kosten	Verklaring overige kenmerken:
++	vrijwel geen	++ laag	+++ zeer sterk positief
+	in geringe mate	+ beperkt	++ sterk positief
o	beperkt	o neutraal	+ positief
-	in sterke mate	- hoog	o neutraal
--	intensief	--	- negatief
			-- sterk negatief
o	neutraal	+ groot	
-	duur	o beperkt	
---	minimaal/ongeschikt		

Opmerking bij tabel 5.5.

Acceptatie is ingeschat op basis van de mogelijke betrokkenheid van de samenleving bij een bepaalde optie. Hoe verder weg of hoe meer uit het zicht des te groter zal de acceptatie zijn. De indruk bestaat dat het NIMBY (Not In My Back Yard) effect het minste optreedt voor berging onder (grond)water.

Bij de beoordeling van de verspreiding uit een depot is uitgegaan van twee uiterste situaties:

- verspreiding als gevolg van kwel
- verspreiding als gevolg van infiltratie.

Beheersbaarheid is van belang voor de eventueel toekomstige verwerking van specie die is opgeslagen in tijdelijke depots. Tevens moeten voor verschillende bergingsvarianten periodieke controles kunnen worden uitgevoerd.

Nazorg geeft een indicatie omtrent de inspanning die nodig blijft om de verspreiding van verontreinigingen uit het depot blijvend tot een minimum te beperken.

De kosten zijn geschat op basis van de benodigde bedijkingen, onder en boven af-dichtingen en beschikbaarheid van bestaande putten. Eventuele extra voorzieningen in het kader van IBC criteria zijn buiten beschouwing gelaten.

5.5 In-situ saneringstechnieken

Toelichting:

Met het toepassen van in-situ technieken om vervuilde waterbodems te saneren is tot dusver nog vrijwel geen ervaring opgedaan. De beschikbare gegevens zijn voornamelijk gebaseerd op ervaring bij de sanering van vervuilde bodemlocaties.

Milieu-effecten kunnen optreden bij het toepassen van die in-situ technieken waarbij chemicaliën worden toegevoegd aan de verontreinigde waterbodem. Tot nu toe bestaat geen inzicht in de aard en de omvang van deze effecten.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Tabel 5.6 Overzicht van de verwerkingstechnieken

	Uitvoerbaarheid	Inzetbaarheid	Rendement	Capaciteit	Kosten	Rest veront.	Bewerking rest veront.
Boven afdekking	+	+	?	+	+	o	o
Verticale afdekking	+	-	?	-	--	+	+
Geo-hydrologisch	+	+	?	o ¹⁾	?	-	
Immobiliseren	-/o	o	?	- ¹⁾	-	-	o
Reinigen	o	o	?	o ¹⁾	-	-	+

Verklaring per kenmerk:

Uitvoerbaarheid + operationeel
 o toegepast op pilotschaal
 - beproefd op laboratoriumschaal

Kosten + goedkoop
 o neutraal
 - duur
 -- erg duur

Inzetbaarheid + in vrijwel alle situaties
 o beperkt to bepaalde groepen
 verontreinigingen
 - incidenteel

Restvervuiling + vrijwel geen
 o is beperkt mogelijk
 over
 - bepaalde verontreinigingen blijven
 onaangetast
 ? onbekend

Rendement en
Capaciteit + goed
 o beperkt
 - laag
 ? onbekend

Bewerking
reststromen + niet nodig
 o nodig op beperkte schaal of afhankelijk
 van de situatie
 - speciale behandeling/voorzieningen
 nodig

1) Informatie van C. Versluijs (RIVM)

6 Samenstelling van mogelijke relevante saneringsalternatieven

De in het vorige hoofdstuk beschreven bouwstenen kunnen worden samengevoegd tot saneringsalternatieven op grond van technische aspecten. Uit alle mogelijke combinaties van bouwstenen zijn er bij nadere beschouwing maar een beperkt aantal in principe toepasbaar. Bij het samenstellen van de saneringsalternatieven wordt in eerste instantie onderscheid gemaakt in in-situ behandeling en ex-situ behandeling. De in-situ technieken worden niet in combinatie met andere bouwstenen toegepast maar vormen een op zich staand saneringsalternatief. De toepasbaarheid van deze technieken is in het vorige hoofdstuk beschreven. In dit hoofdstuk worden de saneringsalternatieven die bestaan uit de overige bouwstenen behandeld.

Het basis saneringsalternatief, dat momenteel het meest wordt toegepast, wordt gevormd door de bouwstenen:

Basis alternatief 1:

- baggeren
- transporteren
- bergen of nuttig gebruik.

Uitgaande van dit eerste alternatief kunnen meerdere saneringsalternatieven worden gevormd door de combinaties van verschillende verwerkingstechnieken. Gegeven de huidige stand van de techniek zijn twee bouwstenen geschikt die kunnen worden gebruikt in combinatie met het eerste alternatief. Deze zijn:

- ontwateren
- scheiden door middel van hydrocyclonage.

Hiermee worden de twee volgende basis saneringsalternatieven gevormd:

Basis alternatief 2:

- baggeren
- transporteren
- ontwateren
- transporteren
- bergen of nuttig gebruik

Basis alternatief 3:

- baggeren
 - transporteren
 - scheiden en ontwateren
 - transporteren
 - bergen of nuttig gebruik
- natuurlijk

machinaal

Opgemerkt wordt dat in bovengenoemde saneringsalternatieven de bouwsteen transporteren twee keer wordt toegepast. De uitvoeringsvorm zal verschillen. De pas gebaggerde specie zal voornamelijk per pijpleiding of per schip worden gtransporteerd. Na verwerken zal meer gebruik worden gemaakt van vervoer per as of per schip.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Bovengenoemde basisalternatieven kunnen verder worden uitgebreid met andere verwerkingstechnieken. De kosten zullen echter sterk gaan toenemen. Dit betekent dat verschillende saneringsalternatieven, uitgaande van ontwateren (2a tot en met 2f in tabel 6.1) en scheiden (3a tot en met 3c in tabel 6.1) zullen worden toegepast in specifieke omstandigheden waarbij er sprake is van een ernstig vervuilde waterbodem van een beperkte omvang.

De grootste problemen bij het uitvoeren van een sanering zijn misschien wel de kosten en de problemen die samenhangen met de berging van vervuilde specie. Twee uiterste alternatieven zijn:

1. Zodanig verwerken dat de berging van de specie geen probleem meer vormt.
2. De depots zodanig inrichten dat ook voor vervuilde specie geen verwerking noodzakelijk is.

Dat betekent dat in die gevallen waarbij er tegen hoge kosten vervuilde specie wordt verwerkt, de berging van de specie geen problemen zou mogen geven. Met andere woorden: het is niet zinvol om tegen hoge kosten vervuilde specie te gaan verwerken als uiteindelijk de vervuilde specie alsnog in een depot met uitgebreide voorzieningen en dus tegen hoge kosten, moet worden geborgen.

Indien voor het eerste alternatief wordt gekozen dan blijkt dat de toepasbaarheid van de verschillende saneringsalternatieven sterk wordt bepaald door de aard van de verontreiniging. Uitgaande van de meest ongunstigste situatie, die zich echter in veel gevallen voordoet, namelijk een combinatie van zware metalen en (beperkt afbreekbare) organische verontreinigingen, blijken er slechts een beperkt aantal saneringsalternatieven toepasbaar namelijk:

2f: ontwateren gevolgd door immobiliseren

3c: scheiden gevolgd door ontwateren en immobiliseren.

Beide saneringsalternatieven zijn erg kostbaar en door de beperkte capaciteit ook slechts bruikbaar voor kleinschalige situaties.

Beperkt bruikbaar zijn de alternatieven:

3a: scheiden

3b: scheiden gevolgd door ontwateren.

Toepassing van beide saneringsalternatieven houdt in dat de grove fractie zodanig schoon moet zijn dat het verspreid kan worden. De verontreiniging wordt geconcentreerd in de slibfractie met een kleiner volume. De berging van deze sterk vervuilde slibfractie neemt minder ruimte in beslag, moet echter voldoen aan IBC criteria.

In de praktijk blijkt dat alternatief 2 (gecontroleerde berging van specie in depots) veel wordt toegepast; saneringsalternatief 1b wordt dan gekozen. In verhouding met de andere saneringsalternatieven bedragen de kosten die hiermee gemoeid zijn slechts 1/2 à 1/4 van de kosten van de hierboven besproken alternatieven. Het lijkt geen voorbarige conclusie dat de ontwikkeling van nieuwe verwerkingstechnieken wordt geremd door dit grote verschil in kosten.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Toelichting bij tabel 6.1.

Uitgaande van de drie basis alternatieven wordt door middel van pijlen aangegeven welke varianten mogelijk zijn.

Per saneringsalternatief wordt een schatting gemaakt van de kosten, hierbij is voor de transportkosten uitgegaan van een afstand van 10 km à f 0,25 per m³ per km voor de overige bouwwerken is uitgegaan van de kosten zoals vermeld in bijlage 2. Verder wordt per alternatief aangegeven de toepasbaarheid voor de volgende soorten verontreinigingen:

- zware metalen
- organische verontreinigingen
- een mengsel van zware metalen en organisch verontreinigingen (cocktail).

Tenslotte worden kwalitatief de gevolgen voor het milieu aangegeven. Betrouwbare gegevens ontbreken hiervoor. Om de milieugevolgen te kwantificeren moet in eerste instantie inzicht worden verkregen in de restconcentraties verontreinigingen die ontstaan als gevolg van de sanering of die overblijven na sanering.

Onderzoek op pilot schaal is hiervoor noodzakelijk. De vertaling van restconcentraties verontreinigingen naar effecten op organismen in en op de waterbodem kan daarna plaatsvinden. Op dit moment zijn dergelijke dosis-effect relaties, zeker voor veld-situaties, niet bekend.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Tabel 6.1 Overzicht van relevante saneringsalternatieven

Saneringsalternatieven	Kosten per m ³ specie (f)	Toepasbaarheid soort verontreiniging			Effecten
		zw. met.	org. verb.	cocktail	
1a. Baggeren Transporteren Verspreiden (Schone baggerspecie)	f 15-20,-	Streefwaar- de moet worden gehaald.	Streefwaar- de moet worden gehaald.	Streefwaar- de moet worden gehaald.	In principe geen effecten omdat alleen schone specie wordt verspreid
Berging	f 25-30,- ¹⁾	ja	ja	ja	Ruimtebeslag, functieverlies.
2a. Baggeren Transporteren Ontwateren Transporteren Bergen	f 65-80,- ^{1,2)}	ja	ja	ja	Minder ruimtebeslag mogelijk schadelijk effect op milieu door lozing perswater. Ruimtebeslag, functieverlies.
b. Transporteren Nuttig gebruik	f 55-70,- ²⁾	ja			Geen, Bouwstoffenbesluit is van toepassing.
c. Reinigen (biologisch) Transporteren Bergen/nuttig gebruik	f 75-110,- ^{1,2)}	nee	Alleen voor afbreekbare stoffen.	Beperkt toepasbaar Add. maat- reg. nodig.	Alleen afbraak bepaalde organi- sche verontreinigingen. Zware metalen blijven beschikbaar voor verspreiding. Ruimtebeslag, functieverlies.
d. Reinigen (thermisch) Transporteren Nuttig gebruik	f 155-170,- ²⁾	nee	Alleen voor afbreekbare stoffen.	Beperkt toe- pasbaar. Addit. maat- reg. nodig.	Zware metalen blijven voor ver- spreiding beschikbaar. Bouw- stoffenbesluit van toepassing.
e. Extractie Transporteren Bergen/nuttig gebruik	f 165-180,- ^{1,2)} Excl. afvoer extract.	ja	Nee	Beperkt toepasbaar. Add. maat- reg. nodig.	Verwijdering van zware metalen Org. verontreinigingen blijven beschikbaar voor verspreiding. Ruimtebeslag, functieverlies.
f. Immobilisatie Transporteren Nuttig gebruik	f 265-280,- ²⁾	ja	ja, sterke reductie	ja	Uitlooggedrag zware metalen onbekend. Bouwstoffenbesluit is van toepassing.
3a. Baggeren Transporteren Scheiden (hydrocyclonage) Transporteren Verspreiden (grove fractie) Bergen (fijne fractie, IBC crit.)	f 50-100,-	ja	ja	ja	Beperken van de omvang van de deponie.
b. Ontwateren (fijne frac.) Transporteren Bergen (IBC crit.)	f 90-150,- ²⁾	ja	ja,	ja	Verdere beperking van de omvang van de deponie
c. Ontwateren (fijne frac.) Immobilisatie Transporteren Nuttig gebruik	f 260-280,- ²⁾	ja	ja	ja	Onduidelijk gedrag van zware metalen. Org. verontr. zijn afge- broken. Geen ruimtebeslag of functieverlies. Bouwstoffen- besluit is van toepassing.

1) Uitgegaan is van berging zonder IBC criteria, indien deze wel van toepassing zijn dan verhogen met f 20-60,- per m³.

2) Exclusief eventuele kosten voor het reinigen van vrijgekomen perswater.

3) Exclusief eventuele kosten voor het reinigen van de fijne fractie die de cycloon verlaat.

7 Relatie met het project Beslissings Ondersteunend Systeem Sanering Verontreinigde Lokaties (BOS-SVL)

Voordat wordt ingegaan op de relatie van bovengenoemd systeem met de beslissystematiek voor de sanering van waterbodems zal op hoofdlijnen het systeem BOS-SVL worden beschreven (ontleend aan [7]).

Bij de ontwikkeling van het systeem BOS-SVL is uitgegaan van de randvoorwaarden zoals die zijn geformuleerd in de Leidraad Bodemsanering (Ministerie VROM, 1988). Het systeem bestaat uit een voorspellingsblok, ontwikkeld door het RIVM en een beoordelingsblok, ontwikkeld door het IVM (Instituut Voor Milieuvraagstukken).

1. Het voorspellingsblok.

De functies van dit blok zijn het genereren van saneringsalternatieven en het voorspellen van de resultaten van de alternatieven. Basisgegevens die hiervoor worden gebruikt zijn locatiekenmerken en gegevens over technische saneringsmaatregelen.

Locatiekenmerken: worden bepaald in het nader onderzoek.

- kenmerken verontreinigingen:
 - aard van de verontreinigingen
 - concentratie van de verontreinigingen
 - omvang van de verontreinigingen
- bodemopbouw per laag
- hydrologische kenmerken van de bodem
- het type bodemgebruik.

Kenmerken technische saneringsmaatregelen: worden afgeleid van uit praktijkgegevens van bestaande installaties.

- Randvoorwaarden voor de toepassing van technische maatregelen (deze bepalen of de grond met een bepaalde techniek te reinigen is).
- Per technische maatregel:
 - kosten,
 - effectiviteit,
 - prestaties.

In het voorspellingsblok wordt berekend hoe de resultaten van een bepaalde techniek scoren op een 50-tal criteria. Deze zijn in de volgende groepen ingedeeld:

- kosten en percentage restprodukten
- emissies naar de lucht en hoeveelheid restprodukten
- emissies naar het grondwater
- gereinigde grond – restconcentraties
- gereinigde grond – uitloogbaarheid
- gereinigde grond – intrinsieke kwaliteit
- overige criteria.

De resultaten tabel vormt de invoer voor de tweede module, het beoordelingsblok.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

2. Beoordelingsblok.

Om in staat te zijn op een gestructureerde wijze de beschikbare alternatieven te beoordelen op de circa 50 criteria is het beoordelingsblok ontwikkeld. Het beoordelingsblok bestaat uit een systematiek welke met behulp van zogenaamde waarderingsfuncties per criterium de uiteindelijke waardering van deze criteria op een gemeenschappelijke schaal bepaalt. Onderlinge vergelijking van de criteria is daarmee mogelijk geworden. Per saneringsalternatief kan, gegeven een bepaalde score per criterium, het belang van de verschillende criteria worden aangegeven. De saneringsalternatieven kunnen worden beoordeeld volgens twee methoden:

1. Gericht op het vaststellen van het alternatief wat het meest bijdraagt tot het bereiken van een schone locatie (zgn. effectiviteitsbenadering).
2. Gericht op het vaststellen van het alternatief met de beste prijs/prestatie verhouding (zgn. efficiencybenadering).

Het systeem richt zich, voor het bepalen van mogelijke effecten op het milieu, op het vaststellen van restconcentraties en emissies. Deskundigen beoordelen in welke mate dit effect heeft op het milieu en de omgeving en in hoe verre dit moet worden meegenomen in de uiteindelijke beslissing. Met behulp van expert-judgement worden de resultaten hiervan in het beoordelingsblok bij de uiteindelijke afweging meegenomen.

7.1 Relatie beslissystematiek sanering waterbodems met BOS-SVL

Om vast te stellen op welke wijze de beide methodieken op elkaar kunnen worden afgestemd is er zowel met het RIVM (voorspellingsblok) als met het IVM (beoordelingsblok) overleg geweest. Hieruit kwamen de volgende conclusies naar voren:

Beide beslissystematieken hanteren dezelfde aanpak voor het genereren van saneringsalternatieven. Uitgaande van elementaire saneringsoperaties (bouwstenen) worden relevante saneringsalternatieven opgesteld. De toepasbaarheid van mogelijke saneringsalternatieven wordt in beide gevallen bepaald door locatiekenmerken, kenmerken van de verontreinigingen en mogelijkheden van de technische saneringsmaatregelen.

Omtrent de sanering van verontreinigde bodemlocaties is echter veel meer informatie beschikbaar dan in het geval van sanering van vervuilde waterbodems. Dit betekent dat de beslissystematiek voor sanering van bodemlocaties verder is ingevuld dan de beslissystematiek voor verontreinigde waterbodems. In dit laatste geval zal de nadruk moeten liggen op het nader invullen van de ontbrekende gegevens. In grote lijnen kan hierbij worden uitgegaan van de criteria zoals die door het RIVM zijn opgesteld. Het ligt voor de hand om de resultaten in de vorm van zogenaamde resultaat tabellen te presenteren. Een aanzet hiervoor is gegeven in hoofdstuk 5 en 6. Hierdoor kan op eenvoudige wijze worden aangesloten bij de beschikbare beslissingsondersteunende systemen.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Het beoordelingsgedeelte van BOS-SVL is een algemene systematiek die ook wordt gebruikt voor andere beslisproblemen. Een vergelijkbare beoordelingssystematiek is operationeel bij TNO en wordt ingezet voor diverse besliskundige problemen. Besliskundigen van beide instituten hebben de twee systemen met elkaar vergeleken. Geconcludeerd is dat de opzet en de basisfuncties van beide systemen vrijwel uniform zijn. De bruikbaarheid voor een beslissystematiek sanering waterbodems staat niet ter discussie; deze wordt bepaald door de beschikbaarheid van voldoende betrouwbare gegevens.

Voor beide systemen geldt echter dat er nog op tal van inhoudelijk punten nadere uitwerking noodzakelijk is. Voorgesteld wordt om de verdere ontwikkeling van bestaande onderdelen of de ontwikkeling van nieuwe onderdelen op elkaar af te stemmen zodanig dat de nieuwe functies aanvullend zijn ten opzichte van elkaar. Voorbeelden hiervan zijn onder andere onderzoek naar de waarderingsfuncties en onderzoek naar de bruikbaarheid van de beschikbare gevoeligheidsanalyse technieken. Over en weer kan gebruik worden gemaakt van de bereikte resultaten waardoor de bruikbaarheid en betrouwbaarheid van de beslissingsondersteunende systemen op een efficiënte wijze kan worden vergroot.

8 Conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek

Het ontwikkelen van een beslissystematiek voor de sanering van vervuilde waterbodems lijkt in principe haalbaar. Een eerste aanzet hiervoor is in dit rapport gegeven. Voor het operationeel maken van de methodiek zijn de tot dusver beschikbare gegevens onvoldoende. De thans beschikbare gegevens zijn nog te algemeen om verantwoord tegen elkaar te kunnen worden afgewogen.

Voorgesteld wordt om in de volgende fase van het onderzoek aandacht te besteden aan de volgende punten:

1. Er moeten voldoende gegevens over de bouwstenen beschikbaar komen.
2. Er moeten voldoende gegevens omtrent de locatie en de aard van het onderzoek beschikbaar komen.
3. Er moet nader onderzoek worden uitgevoerd naar de kwantificering van de milieu-effecten van saneringsoperaties.
4. Er moet een operationele beoordelingssystematiek beschikbaar zijn.

ad. 1 De beschikbaarheid van voldoende betrouwbare gegevens over de diverse bouwstenen is een knelpunt.

Voorstel:

Het vervolgonderzoek richt zich op het per bouwsteen vaststellen van de overblijvende restverontreinigingen en de te verwachten emissies. Aanvullende gegevens, omtrent de toepassing van saneringstechnieken in specifieke situaties, moeten komen uit onderzoek op pilot schaal. Dergelijk onderzoek richt zich op de inzetbaarheid, capaciteit, kosten, rendement, ontstaan van emissies etc. Alleen op deze wijze komen voldoende gegevens beschikbaar om op een betrouwbare wijze de beslissystematiek te gebruiken.

ad. 2 Locatiegegevens, inclusief de aard van de verontreinigingen moeten worden bepaald in het nader onderzoek. De beschikbaarheid van deze gegevens hoeft in principe geen probleem, te vormen, waarbij niet uitgesloten wordt dat aanvullend onderzoek nodig is.

Voorstel:

Binnen het raamwerk van de beslissystematiek worden locatiemarkers en verontreinigingen in categorieën verdeeld. Per categorie kan de inzetbaarheid van de verschillende bouwstenen worden onderzocht en beoordeeld.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

- ad. 3** Een belangrijk onderdeel van de beslissystematiek is de bepaling en de afweging van mogelijke effecten van saneringsoperaties. Op dit moment lijkt een eerste vertaling van de effecten naar de invloed op organismen, die zich binnen de invloedssfeer bevinden van de saneringsoperatie, mogelijk.

Voorstel:

Verdergaand onderzoek uitvoeren naar de relatie tussen de concentratie van verontreinigingen en de effecten op organismen.

- ad. 4** Voor de afweging van verschillende alternatieven kan gebruik worden gemaakt van bestaande beslissingsondersteunende systemen. Ontwikkeling van een systeem onafhankelijk van de beschikbare systemen is overbodig.

Voorstel:

Deskundigen worden geraadpleegd om aan te geven welke effecten ten aanzien van bijvoorbeeld de gebruiksfunctie van de omgeving of de effecten op de gezondheid optreden als gevolg van een saneringsoperatie. Met behulp van technieken zoals 'expert-judgment' kan deze informatie worden gewaardeerd ten opzichte van de andere effecten en zo worden meegenomen bij de uiteindelijke afweging. De verdere ontwikkeling van bestaande onderdelen of de ontwikkeling van nieuwe onderdelen worden op dit punt afgestemd met het onderzoeksprogramma van het IVM.

9 Literatuur

- [1] *Beslissingssystematiek sanering waterbodems fase 2. Onderdeel 'Saneringstechnieken'.*
Ing. H.J. van Veen
TNO-MT, november 1990, Rapport nr. 90-375b.
- [2] *Beslissingssystematiek sanering waterbodems fase 2. Onderdeel: Effectbepaling, een eerste verkenning vanuit milieu-hygiënisch perspectief.*
Ir. M.J. Diependaal, Ir. P.B.J.M. Oude Boerigter,
Dr. C. van de Guchte en Drs. J.W. Biekart.
TNO-SCMO / DBW/RIZA, oktober 1990.
- [3] *Milieu-effectrapportage Zuiveringsslib c.a. en Baggerspecie Provincie Noord-Holland, augustus 1990.*
- [4] *Beslissystematiek bij de sanering van waterbodems*
A. Struijk
Symposium: De sanering van waterbodems.
31 januari 1991, Noordwijk
- [5] *Water nu en later, waterbodems: van probleemanalyse naar oplossing.*
A.W. van der Hoek, P.B.M. Stortelder, T. Bakker, H. Peters en
A. Roos.
Ministerie van verkeer en Waterstaat.
DBW/RIZA nota nummer: 90.0038.
- [6] *Derde Nota Waterhuishouding, supplement en de regeringsbeslissing,*
Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989.
- [7] *Een systeem ter ondersteuning van beslissingen over de sanering van verontreinigde bodems. (Concept) 1990.*
M. van Herwijnen, R. Jansen, W.J.F. Visser en C.W. Versluijs.
Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam.
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- [8] *Leidraad bodemsanering: Oriënterende onderzoek naar de aard, concentratie en omvang van bodemverontreiniging.*
F.P.J. Lamé, Drs. R. Bosman.
TNO-MT, juni 1990 Rapport nr. R 89/170.
- [9] *Leidraad bodemsanering: Nader onderzoek naar de aard, concentratie en omvang van bodemverontreiniging.*
F.P.J. Lamé, Drs. R. Bosman.
TNO-MT, juli 1990 Rapport nr. R 89/171.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

- [10] Voorlopige richtlijnen voor Nader Onderzoek van Vervuilde Waterbodems in de Rijkswateren (eindconcept)
J.M. van Steenwijk, T. Bakker, P.B.M. Stolder, C. van der Guchte
RIZA, maart 1991.

- [11] Milieubewust baggeren.
Ir. Joh. G.S. Pennekamp
Congres Waterbodemsanering.
Den Haag, 25 april 1991.

- [12] Ontwikkelingen in de waterbodemkwaliteit.
Verslag studiedag Vereniging voor Milieuwetenschappen
Effecten van verontreinigde waterbodems op aquatische ecosystemen.
Bruggeman e.a., Ede 1988.

10 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
Speerpunt Programma Bodemonderzoek
Postbus 37
6700 AA Wageningen

RIZA
Postbus 17
7300 AH Apeldoorn

TNO
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Namen en functies van de medewerkers
Ing. L.J.B. Koehorst - onderzoeker
Ing. H.J. van Veen - werkgroep leider

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed
n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
januari tot en maart 1991

Ondertekening

Ing. L.J.B. Koehorst
onderzoeker

Goedgekeurd door

Ing. H.J. van Veen
werkgroep leider

Bijlage 1 Overzicht parameters nader onderzoek

Als leidraad voor het onderzoek naar de ernst van de vervuilde waterbodem kan het nader onderzoek dienen zoals dat is aangegeven in de Leidraad bodemsanering. Deze gegevens geven inzicht in de mogelijke risico's van het laten liggen van de vervuilde waterbodem. Wordt besloten om toch te saneren dan vormen deze gegevens tevens het uitgangspunt voor de te kiezen saneringsmethode. Belangrijke parameters die vastgesteld moeten worden kunnen, zijn vermeld in onderstaande checklist.

1. Aard van de verontreinigingen in het sediment:

Aard en concentratie van de verontreinigde stoffen in het sediment	-
Verdeling van de verontreinigingen in horizontaal en verticaal vlak	mg/kg
Speciatie zware metalen	-
Fractie gedissocieerd	dimensieloos
Verdelingscoëfficiënt sediment/poriënwater	K_p (dm ³ /kg)
Oppervlakte verontreinigd sediment	ha

Met bovenstaande gegevens wordt een indruk verkregen omtrent de ernst van de vervuiling. Op basis hiervan kan worden besloten al dan niet te saneren.

2. Sedimenteigenschappen

Dikte verontreinigd pakket	cm
Continuïteit laag	kwalitatief
Doorlatendheid	m/dag
Porositeit	m ³ /m ³
Korrelgrootteverdeling	% fracties µm
Organisch stofgehalte	%
Vochtgehalte	%
Consistentie	kwalitatief
pH-KCl (S)	dimensieloos
CEC (S)	meq/kg sed.
Aanwezigheid Fe- en Mn-oxiden	kwalitatief
Calcietgehalte	%
Heterogeniteit	kwalitatief
Redoxpotentiaal	mV
N-totaalgehalte	mg/kg
P-totaalgehalte	mg/kg
S-totaalgehalte	mg/kg
Geleidbaarheid	mV

Bovenstaande gegevens worden mede gebruikt bij de keuze van de te gebruiken saneringstechniek.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

3a. Aard van de verontreinigingen in het oppervlaktewater

Aard van de verontreinigende stoffen in water	-
Concentratie van de verontreinigende stoffen in water	µg/liter
Speciatie zware metalen	-
Fractie gedissocieerd	dimensieloos

3b. Oppervlaktewater-eigenschappen

Stromingssnelheid	m/sec
Stromingsrichting	-
Turbulentie	-
Hoeveelheid zwevend stof	mg/liter
Waterdiepte	m
Temperatuur	°C
pH-KCl	dimensieloos
Zuurstofgehalte	µg/liter
Zoutgehalte (Cl ⁻)	µg/liter
Organische stofgehalte	µg/liter
N-totaal en P-totaalgehalte	
Sedimentatiesnelheid (pos./neg.)	mm/jaar

Bovenstaande gegevens worden gebruikt om te bepalen of de verontreinigingsbronnen zijn gesaneerd en of het oppervlaktewater voldoet aan de vereiste kwaliteitsnormen. Indien dit het geval is dan kan dit een reden zijn om van sanering af te zien.

4a. Aard van de verontreinigingen in het grondwater

Aard en concentratie van de verontreinigde stoffen in het grondwater	µg/liter
Speciatie zware metalen	-
Fractie gedissocieerd	dimensieloos

4b. Grondwatereigenschappen:

Grondwatertrap	dimensieloos
Grondwaterstand	m
Geleidbaarheid	m ohm/cm
pH-KCl	dimensieloos
Stromingsrichting en snelheid watervoerend pakket	m/jaar
Verhang watervoerende laag	dimensieloos
Verplaatsingssnelheid verontreinigingsfront	m/jaar

Bovenstaande gegevens geven een indruk omtrent de verspreiding van de verontreinigingen in het grondwater op dit moment en het gedrag in de toekomst. Dit kan van invloed zijn op de beslissing om al dan niet te saneren.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

5a. Aard van de verontreinigingen in de bodem

Aard van de verontreinigende stoffen in water	-
Concentratie van de verontreinigende stoffen in de bodem	mg/lkg
Speciatie van zware metalen	-
Fractie gedissocieerd	dimensieloos
Verdelingscoëfficiënt grond/grondwater Kp	m ³ /kg
Horizontale verspreiding verontreiniging	isolijnen mg/kg
Verticale verspreiding verontreiniging	isolijnen mg/kg
Dikte verontreinigd pakket	cm
Diepte verontreinigd pakket	cm - m.v.

5b. Bodemeigenschappen

Doorlatendheid	m/dag
Porositeit	m ³ /m ³
Korrelgrootteverdeling	% fracties µm
Organisch stofgehalte	%
N-totaalgehalte en P-totaalgehalte	mg/kg
Bodemstructuur	geen/matig/sterk
Consistentie in vochtige toestand	los/verkruijmelbaar/vast
pH-KCl (S)	dimensieloos
CEC	meq/kg
Aanwezigheid Mn- en Fe-oxiden	geen/weinig/veel/erg veel
Geleidbaarheid	mV
CaCO ₃	%
Heterogeniteit	weinig/matig/sterk
Redoxpotentiaal	mV

Bovenstaande gegevens geven een indruk omtrent de verspreiding van de verontreinigingen in de bodem op dit moment en het gedrag in de toekomst. Dit kan van invloed zijn op de beslissing om al dan niet te saneren.

6. Locatiefuncties:

Waterwinning
 Bijzondere ecologische functie van het gebied
 Woongebieden
 Visserij
 Recreatie
 Scheepvaart
 Delfstoffenwinning
 Woongebieden
 Mogelijke veranderingen in de gebruiksfuncties

Bovenstaande gegevens worden gebruikt om de verschillende saneringsalternatieven, inclusief de optie niets doen, tegen elkaar af te wegen.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Bij uitgestrekte locaties moet een uitgebreid bemonsteringsprogramma worden opgezet om een representatief beeld te krijgen van de vervuilde locatie. Zowel voor het oriënterend als het nader onderzoek worden in respectievelijk [8], [9] en [10] aanbevelingen gedaan.

Bijlage 2 Samenvatting per bouwsteen van relevante aspecten*

2.1 Niets doen

De optie niets doen, kan als nul alternatief in het saneringsonderzoek worden opgenomen om inzicht te krijgen in het effect van andere saneringsalternatieven.

Inzetbaarheid	:	Altijd
Kosten	:	Beperkt
Capaciteit	:	Niet van toepassing
Rendement	:	Niet van toepassing
Gevolgen	:	De gevolgen van niets doen voor milieu, gebruik en gezondheid kunnen worden ingeschat op basis van de resultaten uit het nader onderzoek.

2.2 In-situ saneringstechnieken

Gezien de moeilijkheden die het oplevert om geschikte locaties te vinden voor het inrichten van depots voor de berging van gebaggerde specie neemt de belangstelling voor in-situ saneringstechnieken toe.

Met in-situ saneringstechnieken is tot dusver echter nog vrijwel geen ervaring opgedaan. Onduidelijkheid bestaat over belangrijke criteria zoals:

- rendement,
- kosten,
- overblijvende restverontreinigingen,
- lange termijn effecten.

2.2.1 In-situ immobilisatie

Algemene kenmerken:

Immobilisatie betekent het chemisch fixeren van de verontreinigingen waardoor de verspreiding wordt tegengegaan. Onderscheid wordt gemaakt in het toepassen voor zware metalen en organische verontreinigingen. Immobilisatie van zware metalen wordt bijvoorbeeld bereikt door het verhogen van de pH. Hierdoor worden carbonaten gevormd die neerslaan.

* Een rapport met meer uitgebreide informatie over de bouwstenen is momenteel in voorbereiding bij het Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems, (POSW)

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Inzetbaarheid	:	–	Deze techniek is waarschijnlijk niet toepasbaar voor organische microverontreinigingen Alleen voor zware metalen is de techniek in principe haalbaar.
		–	Geen lange termijn oplossing. De verontreiniging, blijft beschikbaar continue monitoring
		–	De biologische effecten van geïmmobiliseerde metaalverontreinigingen zijn onzeker/onbekend.
		–	Toevoeging van stoffen in stromend water werkt kostenverhogend.
Kosten	:	–	Hoog, exacte gegevens zijn onbekend.
Capaciteit	:	–	
Rendement	:	–	} onbekend, vanwege het ontbreken van gegevens
Gevolgen	:	–	

2.2.2 In-situ isoleren

Algemene kenmerken

Van de in-situ technieken is isoleren het meest bekend en toegepast. Isoleren betekent het afschermen van de verontreinigde laag van de omgeving. De verontreiniging zelf wordt niet bewerkt. Isoleren kan op 3 manieren:

- Civiel-technisch
- Geo-hydrologisch
- Fysisch-chemisch

Gezien de huidige stand van de techniek en de mogelijke milieutechnische bezwaren is het fysisch-chemisch isoleren van vervuilde waterbodems op dit moment geen reëel alternatief.

2.2.2.1 Civiel-technisch isoleren

Algemene kenmerken:

Een vervuilde laag kan van zijn omgeving worden geïsoleerd door driedimensionale afscherming met diverse middelen zoals foliën, damwanden of bentoniet. Onderafscherming is bij waterbodems niet mogelijk. Dit betekent dat verspreiding van de vervuiling naar de onderliggende bodemlagen of grondwater in principe mogelijk blijft. Bovenafdekking is wel relatief eenvoudig te realiseren en heeft tot doel om nalevering naar het bovenstaande water te verminderen of te verhinderen.

Inzetbaarheid	:	–	Minder geschikt voor verontreinigingen die een groot oppervlak beslaan.
		–	Duur per m ³ specie met name vanwege de over het algemeen geringe dikte van het vervuilde pakket waterbodem.
		–	Wel geschikt voor het isoleren van sterk verontreinigde kleinschalige locaties. Gedacht kan worden aan de omgeving van lozingspijpen.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

- | | | |
|------------------|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> – Omdat onderafscherming niet mogelijk is zijn aanvullende geo-hydrologische maatregelen vaak nodig. Voorafgaand onderzoek naar grondwater-stromingen is noodzakelijk. – Bovenafdekking is noodzakelijk om verspreiding naar het oppervlaktewater tegen te gaan. Hiervoor kan bij voorbeeld bentoniet worden gebruikt. Mogelijke hinder voor de scheepvaart kan hierdoor ontstaan. – Uitvoering van civiel-technisch isoleren geeft vaak overlast voor de scheepvaart of de uitvoering wordt belemmerd vanwege het drukke scheepvaartverkeer. – Van belang bij de keuze van de afdichtmiddelen is onder andere de betrouwbaarheid van de afdichting. |
| Kosten | : | <ul style="list-style-type: none"> – De kosten voor isoleren van waterbodems zijn niet bekend maar zullen hoger zijn dan de kosten van het isoleren van verontreinigde landbodems. Voor het aangeven van de kosten is uitgegaan van een cirkelvormige verontreinigde bodemlocatie met een diepte van 5 m. Hiervoor zijn de volgende kosten berekend:
 Boven afdekking: <ul style="list-style-type: none"> – kunststof, klei f 2 - 5,- per m³ – bentoniet? – zand, grind f 0,20 - 1,- per m³ Verticale afdekking: <ul style="list-style-type: none"> – stalen damwand f 150 - 250,- per m³ (tot 5 m diep) – bentoniet f 50 - 100,- per m³ – beton f 250,- per m³ – kunststof f 100,- per m³ |
| Capaciteit | : | <ul style="list-style-type: none"> – Verontreinigde waterbodems die een groot oppervlak beslaan zijn niet te isoleren door middel van verticale afdekking vanwege de kosten en het ruimtebeslag. Maximaal af te schermen gebied circa 300 x 300 m. – Bovenafdekking kan worden toegepast voor grotere oppervlakken. |
| Rendement | : | <ul style="list-style-type: none"> – De betrouwbaarheid van de bovenafdekking is onbekend. De verticale afdekking met stalen damwanden is vrijwel 100%. |
| Gevolgen, milieu | : | <ul style="list-style-type: none"> – Ervan uitgaande dat de afdekkingsmaterialen geen nadelige invloed hebben op het milieu, beperkt isoleren de verspreiding van de verontreiniging en heeft daardoor een positief effect op het milieu. |
| Gebruik | : | <ul style="list-style-type: none"> – Er bestaat de mogelijkheid dat het scheepvaartverkeer wordt belemmerd tijdens de isolatiewerkzaamheden. Ook kan de diepgang van de vaarweg geringer worden door het aanbrengen van een bovenafdekking.
 Indien de verontreiniging zich in verticale richting verspreidt bestaat het gevaar dat het grondwater vervuild raakt. |
| Gezondheid | : | <ul style="list-style-type: none"> – Geen effecten bekend. |

2.2.2.2 Geo-hydrologische afscherming

Algemene kenmerken:

Door het ingrijpen in de grondwaterstroming of de grondwaterstand kan de verspreiding van verontreiniging naar de omgeving toe worden beperkt. Deze maatregelen worden vooral gebruikt ter aanvulling op civiel-technische isolatiemaatregelen. Aanvullende geo-hydrologisch maatregelen kunnen de verspreiding via de onderlaag beperken. Mogelijkheden zijn:

– Grondwateronttrekking

– Peilbeheersing oppervlaktewater

Inzetbaarheid : – Grondwateronttrekking levert grote hoeveelheden te verpompen licht vervuild water op wat eventueel gezuiverd moet worden. Dit brengt relatief hoge kosten met zich mee en vereist gedurende lange tijd nazorg.

– Door verlaging van het peil van het oppervlakte- water kan er een toestroom van grondwater worden verkregen waardoor de verspreiding van de vervuiling beperkt wordt.

Kosten : – Peilbeheersing is een relatief goedkope optie.

Capaciteit : – Afhankelijk van de gebruikte persinstallatie.

Rendement : – N.v.t.

Gevolgen : – Onbekend.

2.2.3 In-situ reinigen

Algemene kenmerken:

Door beluchten van de vervuilde waterbodem worden biologisch afbreekbare organische verontreinigingen afgebroken. Deze methode is niet geschikt voor waterbodems vervuild met zware metalen. De benodigde zuurstof wordt ingebracht door omwoeling of door het gebruik van zogenaamde zuurstofdonoren, chemicaliën die zuurstof afgeven.

Inzetbaarheid : – Deze methode kost veel tijd, circa 1-2 jaar.

Afscherming van de verontreinigde locatie is nodig en moet voor de duur van de sanering mogelijk zijn. Is dit niet mogelijk dan is een alternatief het verplaatsen van de verontreinigde bodem naar een andere onderwater locatie (bijvoorbeeld buiten de vaargeul) waar wel kan worden gereinigd.

– Afscherming in stromend water kan betekenen dat er te hoge stroomsnelheden gaan optreden die schade veroorzaken aan oevers en kunstwerken.

– Alleen geschikt voor organische verontreinigingen.

– Het is onduidelijk of na zuivering de specie voldoet aan de normen die gelden voor het laten liggen van de specie. De zuivering moet zover zijn voortgeschreden dat voldaan wordt aan de grenswaarde of de streefwaarde.

– Onderzoek naar de te verwachte resultaten is noodzakelijk.

Kosten : – De kosten worden geraamd op f 10 - 50,- per m³.

Capaciteit	:	—	Wordt bepaald door de hoeveelheid in te brengen zuur stof en de beschikbare tijd.
Rendement	:	—	Onbekend.
Gevolgen, milieu	:	—	De zware metalen welke in het aerobe milieu mobiel worden kunnen de kwaliteit het oppervlaktewater nadelig beïnvloeden.
gebruik	:	—	Tijdelijk hinder voor scheepvaartverkeer.
gezondheid	:	—	Onbekend.

Ex-situ saneringstechnieken

2.3 Baggeren

Algemeen:

Op hoofdlijnen bestaat er de volgende indeling in baggertechnieken:

- Mechanisch,
- Mechanisch-hydraulisch,
- Hydraulisch.

Bij het baggeren is het gewenst om de te baggeren hoeveelheid tot een minimum te beperken. Dit leidt tot lagere baggerkosten en aanzienlijk kleinere problemen bij de uiteindelijke verwerking en/of berging. Onderzoek moet worden uitgevoerd om selectief baggeren mogelijk te maken. Het nader onderzoek geeft een indruk omtrent de aard en de concentratie van de verontreinigingen, de drie dimensionale verspreiding van de verontreinigingen, alsmede de verdeling over de verschillende fracties.

De keuze van de baggertechniek hangt af van de volgende factoren:
locatie-afhankelijk

- vorm van de watergang
- bereikbaarheid
- totale omvang en dikte van de verontreiniging
- ruimtelijke spreiding van de verontreiniging
- dichtheid van de baggerspecie
- capaciteit
- kosten van het baggeren
- nauwkeurigheid van de baggermethode, deze is mede afhankelijk van de productiecapaciteit.
- milieu-effecten.

2.3.1 Mechanisch baggeren

Kenmerken:

Het te baggeren materiaal wordt door middel van mechanische kracht omhoog gebracht. De dichtheid van de baggerspecie blijft gehandhaafd. De afmetingen van de baggerwerktuigen varieert van emmerbaggermolens voor grootschalige projecten tot de grijperkraan voor kleinschalige projecten.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Inzetbaarheid	:	–	Geschikt voor baggerspecie met grote dichtheid.
		–	Aanwezigheid grof vuil is niet direct beperkend voor het baggeren.
		–	Grote nauwkeurigheid, circa 0,10 m onder optimale omstandigheden.
Kosten	:	–	f 4 - 12,- per m ³ .
Capaciteit	:	–	Tot enkele honderden m ³ /h.
Gevolgen, milieu	:	–	Minimale verspreiding, vertroebeling circa 15 - 60 mg/kg droge stof.
gebruik	:	–	Beperking van de waterwinning voor de duur van het baggeren.
		–	Tijdelijke hinder voor de scheepvaart.
		–	Tijdelijke beperking van de recreatie.
gezondheid	:	–	Werknemers kunnen aan verontreinigingen worden blootgesteld.

2.3.2 Hydraulisch baggeren

Kenmerken:

De specie wordt ontgraven en getransporteerd onder invloed van een door een pomppont ontwikkelde zuigkracht. De vaste deeltjes worden met de waterstroom meegevoerd. Door dit water onder druk te recirculeren wordt het losmaken van de deeltjes bevorderd. Deze methode biedt goede aanknopingspunten bij het transporteren van de baggerspecie per pijpleiding.

Inzetbaarheid	:	–	Geschikt voor specie met lage dichtheid.
		–	Hinder door de aanwezigheid van grof vuil.
		–	Geringe nauwkeurigheid, circa 0,50 m
Kosten	:	–	f 2,50 - 8,- per m ³ .
Capaciteit	:	–	Tot enkele duizenden m ³ /h.
Gevolgen, milieu	:	–	Grote mate van verspreiding en vertroebeling 40 - 500 mg/kg droge stof.
gebruik	:	–	Zie 2.3.1.
gezondheid	:	–	Zie 2.3.1.

2.3.3 Mechanisch-hydraulisch baggeren

Kenmerken:

De specie wordt mechanisch losgemaakt en daarna hydraulisch verpompt.

Inzetbaarheid	:	–	Geschikt voor samenhangend materiaal.
		–	Hinder door de aanwezigheid van grof vuil.
		–	Redelijke nauwkeurigheid circa 0,20 m.
Kosten	:	–	Onbekend.
Capaciteit	:	–	Tot enkele duizenden m ³ /h.
Gevolgen, milieu	:	–	Onbekend.
Gebruik	:	–	Zie 1.3.1.
Gezondheid	:	–	Zie 1.3.1.

2.4 Verwerken

Algemene kenmerken:

Het doel van het verwerken van baggerspecie is het verbeteren van de kwaliteit van de specie. Dit moet leiden tot ruime mogelijkheden voor de uiteindelijke eindbestemming.

Verwerken bestaat uit een aantal technieken die in meer of mindere mate operationeel zijn. Algemeen geldt dat, voordat men begint, vooronderzoek nodig is waaruit blijkt:

- De verdeling van de verontreiniging over de verschillende deeltjes-fracties.
- De ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging.
- De aard van de verontreiniging.
- Het te verwachten resultaat van de te kiezen saneringstechniek.

Het resultaat van de verschillende verwerkingsmethodes is van diverse factoren afhankelijk. In tegenstelling tot diverse technieken bij de sanering van vervuilde bodemlocaties zijn er vrijwel geen betrouwbare meetgegevens uit praktijksituaties beschikbaar. Om een indruk te krijgen omtrent het uiteindelijke saneringsresultaat, inclusief de overblijvende restvervuiling is het noodzakelijk om onderzoek uit te voeren op pilotschaal.

De volgende verwerkingstechnieken zijn beschikbaar:

2.4.1 Scheiding

Algemene kenmerken:

Het doel van het scheiden van verontreinigde specie is te komen tot een schone 'zand' fractie en een slibfractie waarin de vervuiling is geconcentreerd. Indien de scheiding niet leidt tot een verruiming van de eindbestemmingsmogelijkheden dan heeft scheiding geen zin. Het scheiden gebeurt in belangrijke mate door hydrocyclonage.

- | | | |
|---------------|---|---|
| Inzetbaarheid | : | <ul style="list-style-type: none">— Scheiden is alleen mogelijk indien de verontreiniging niet homogeen verdeeld is over de deeltjes.— Hydrocyclonage kan worden bemoeilijkt door bijvoorbeeld teerdeeltjes of lood/ertsdeeltjes die in het slib aanwezig kunnen zijn.— Grove verontreinigingen moeten eerst worden afgezeefd. |
| Kosten | : | <ul style="list-style-type: none">— De kosten van hydrocyclonage bedragen, afhankelijk van de capaciteit en de mate van scheiding f 4 - 10,- per m³. |
| Capaciteit | : | <ul style="list-style-type: none">— Varieert tussen de 100 en 1000 m³/h. |
| Rendement | : | <ul style="list-style-type: none">— Het criterium voor 'schoon' van de 'zand' fractie hangt af van de resterende hoeveelheid slib en de hiergebonden hoeveelheid verontreiniging— De scheidingsgraad hangt sterk af van de situatie. Praktijkgetallen voor de scheidingsefficiency: droge stof: 20 en 70% (% deel van de droge stof dat als zandfractie de cycloon verlaat). |

- Verontreiniging: 1-15% (% deel van de verontreiniging die met de zandfractie de cycloon verlaat).
- Gevolgen : — Alle verwerkingsstappen zijn een tussenstap in het totale verwerkingsproces van de baggerspecie. Effecten op het milieu, gebruik en de gezondheid zijn vrijwel niet van betekenis.

2.4.2 Ontwateren

Algemene kenmerken:

Het doel is volumereductie waardoor berging eenvoudiger zou kunnen worden, minder ruimtebeslag met zich meebrengt of om langer gebruik te maken van bestaande depots. Er kunnen twee technieken worden onderscheiden namelijk sedimenteren en mechanisch ontwateren door middel van bijvoorbeeld zeefbandpersen. Beide technieken zijn operationeel.

- Inzetbaarheid : — Het te bereiken droge stof gehalte is ca 40-70%. Dit betekent dat ontwateren alleen zinvol is in die situaties waar het droge stofgehalte <40%.
- Kosten : — Ontwateren door sedimentatie kost veel tijd.
— De kosten voor sedimenteren worden bepaald door de aanleg van bezinkbassins.
— Voor mechanisch ontwateren bedragen de kosten circa f 10-50,- per m³, afhankelijk van de verwerkingscapaciteit.
- Capaciteit : — Sedimentatie: capaciteit wordt bepaald door de beschikbare ruimte.
Mechanisch: per installatie maximaal enkele honderden m³/h.
- Rendement : — Afhankelijk van de uitvoeringsvorm en de tijdsduur tot circa 70% droge stof gehalte.
- Gevolgen : — Zie 2.4.1.

2.4.3 Reinigen

2.4.3.1 Thermisch reinigen

Algemene kenmerken:

Deze methodiek is geschikt voor organische verontreinigingen die worden vernietigd. Het droge stof gehalte van de specie moet minimaal 60% bedragen. De techniek is operationeel.

- Inzetbaarheid : — Alleen toepasbaar voor organische verontreiniging
— Het gedrag van zware metalen na een thermische behandeling is onbekend.
— Nadeel is dat de textuur van de te reinigen specie zodanig wordt aangetast dat gebruik als bijvoorbeeld teelaarde niet mogelijk is.
- Kosten : — De kosten bedragen circa f 100,- per m³.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

- Capaciteit : — Enkele tientallen m³/h.
Rendement : — De concentratie organische verontreinigen wordt sterk gereduceerd.
Gevolgen : — Zie 2.4.1

2.4.3.2 Biologisch reinigen

Algemene kenmerken:

Biologisch reinigen is onder andere mogelijk via een intensieve behandeling in bioreactoren of door een extensieve behandeling bijvoorbeeld landfarming. Reiniging met bioreactoren is momenteel nog niet operationeel. Landfarming wel maar alleen voor vervuilde grond. Reinigen is mogelijk voor biologisch goed afbreekbare organische stoffen. Goed afbreekbare stoffen zijn:

- olie-achtige stoffen
- aromatische koolwaterstoffen
- gesubstitueerde benzenen
- lagere polycyclische aromatische koolwaterstoffen
- cyaniden

De mate waarin de verontreinigingen worden afgebroken garandeert echter niet dat referentiewaarden worden bereikt.

- Inzetbaarheid : — De benodigde tijd is een aantal (zomer)maanden.
— Organische verontreinigingen worden afgebroken.
— Door nalevering van verontreinigingen tengevolge van desorptieprocessen kan een deel van de organische verontreinigingen biologisch beschikbaar blijven.
— Tengevolge van onvolledige afbraak bestaat de kans op de vorming van ongewenste tussenprodukten.
- Kosten : — Voor intensieve behandeling worden de kosten geraamd op f 100 - 450,- per m³. Voor extensieve behandeling op f 20 - 60,- per m³.
- Capaciteit : — Voor extensieve behandeling wordt de capaciteit bepaald door het beschikbare oppervlak.
- Rendement : — Door onder andere adsorptie aan andere stoffen zijn niet alle aanwezige biologisch afbreekbare componenten ook beschikbaar voor het afbraakproces. Het theoretisch haalbare rendement zal daarom niet gehaald worden.
- Gevolgen : — Zie 2.4.1.

2.4.4 Extractie

Algemene kenmerken:

Als extractiemiddelen voor zware metalen kunnen complexvormers of anorganische zuren worden gebruikt. Extractie is op onderzoeksschaal toegepast voor zware metalen. Deze techniek is nog niet operationeel. Extractie van organische verontreinigingen is op dit moment in onderzoek. De keuze van het extractiemiddel, alsmede het te verwachten rendement, moet blijken uit pilotonderzoek.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Inzetbaarheid	:	–	De methodiek is uitvoerbaar voor zware metalen, is echter nog niet operationeel toegepast.
Kosten	:	–	Kosten worden geraamd op circa f 30 - 100,- per m ³ .
Capaciteit	:	–	Enkele tientallen m ³ /h.
Rendement	:	–	Het te behalen rendement is onder meer afhankelijk van de concentratie van het gebruikte extractiemiddel en de tijdsduur.
Gevolgen	:	–	Zie 2.4.1.

2.4.5 Immobiliseren

Algemene kenmerken:

Het immobiliseren van verontreinigingen gebeurt door het verhitten van de baggerspecie waardoor zware metalen worden 'ingesloten' en de organische verontreinigingen worden verbrand. Het resultaat is een pellet-achtig produkt. Gebruik van deze pellets in de een of andere vorm ligt voor de hand. Normen uit het Bouwstoffenbesluit zullen aangeven tot welke niveau de concentraties zware metalen acceptabel zijn.

Inzetbaarheid	:	–	Geschikt voor alle soorten verontreinigingen. – Techniek is uitvoerbaar, wordt echter nog niet operationeel toegepast.
Kosten	:	–	Kosten worden geraamd op circa f 200,- per m ³ .
Capaciteit	:	–	Tot enkele tientallen m ³ /h.
Rendement	:	–	De concentratie organische verontreinigen wordt sterk gereduceerd, zware metalen worden geïmmobiliseerd.
Gevolgen	:	–	Zie 2.4.1. Voor de effecten van het nuttig gebruik van ontstane produkten zie 2.6.

2.5 Transporteren

Algemene kenmerken:

Gebaggerde specie moet altijd over een bepaald afstand worden verplaatst, hetzij naar een bergingslocatie, hetzij naar een verwerkingslocatie en daarna naar een depot. Er bestaan de volgende transportvormen voor baggerspecie:

- per pijpleiding
- per schip
- per as

2.5.1 Transport per pijpleiding

Inzetbaarheid	:	–	Geschikt voor waterrijke specie. – Minder geschikt voor bewerkte specie. – Geschikt voor grote hoeveelheden. – Sluit goed aan bij hydraulisch baggeren (hopperzuigers).
---------------	---	---	--

Beslissystematiek sanering waterbodems

Eindrapport

Kosten	:	– Grote flexibiliteit in de bedrijfsvoering.
		– Kosten zijn afhankelijk van de afstand
		afstand < 2 km kosten, f 2,50 m ³ /km
		afstand 2-4 km kosten, f 3 - 6,- m ³ /km
Capaciteit	:	afstand > 4 km kosten, f 6,50 m ³ /km
Gevolgen	:	– Afhankelijk van de gebruikte persinstallaties.
		– N.v.t.

2.5.2 Transport per schip.

Inzetbaarheid	:	– Geschikt in combinatie met emmerbaggermolens.
		– Alleen geschikt voor transport over water (triviaal).
		– Lage kosten.
		– Bij een transportafstand groter dan 60 km nemen de kosten slechts zeer geleidelijk toe.
Kosten	:	– Bij transport van een bak met een grootte van 2000 à 3000 m ³ circa f 0,12 - 0,25 per m ³ /km.
Capaciteit	:	– Afhankelijk van het in te zetten materiaal.
		– N.v.t.

2.5.3 Transport per as

Inzetbaarheid	:	– Geschikt voor ontwaterd slib.
		– Duur in vergelijking met andere transportvormen.
		– Flexibele bedrijfsvoering.
		– Kosten zijn afhankelijk van de afstand en worden geschat op f 0,25 - 0,30 per m ³ /km.
Kosten	:	
Capaciteit	:	– Afhankelijk van het in te zetten materiaal.
		– N.v.t.

2.6 Nuttig gebruik

Kenmerken:

Om de hoeveelheid te storten specie terug te brengen is er in principe de mogelijkheid om specie als aanvulgrond, ophoogmateriaal of als grondstof voor bijvoorbeeld stenen etc. te gebruiken. Het knelpunt bij het nuttig gebruik van specie zijn niet de (technische) mogelijkheden maar de normen en criteria die worden gesteld aan het gebruik. Op dit moment is het gebruik van vervuilde specie beladen waardoor er een grote maatschappelijke weerstand tegen bestaat en momenteel slechts een beperkte oplossing vormt.

Inzetbaarheid	:	– De kosten voor eventuele voorbehandelingen beperken het gebruik.
		– Alleen specie met een chloridegehalte < 5 gr/l komt in aanmerking voor nuttig gebruik.
		– Normen voor nuttig gebruik zijn (nog) niet beschikbaar (Bouwstoffenbesluit is in voorbereiding).

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Kosten	:	–	In principe is er bij nuttig gebruik geen sprake van kosten.
Capaciteit	:	–	N.v.t.
Gevolgen, Milieu	:	–	Toename van de diffuse verspreiding van verontreinigingen in het milieu.
Gebruik	:	–	De te stellen normen voorkomen aantasting van de gebruiksfuncties van het milieu.
Gezondheid	:	–	Onbekend.

2.7 Bergen

Kenmerken:

Baggerspecie die niet verwerkt of nuttig gebruikt kan worden wordt geborgen. Van de normen die hieraan worden gesteld, wordt verwezen naar de beleids-MER bergings baggerspecie die in voorbereiding is. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen bergen op land en in water (zowel zoet als zout water). In dit overzicht wordt uitgegaan van een definitieve opslag (>100 jaar). Welke vorm van bergen ook wordt gekozen, verspreiding van de verontreiniging naar de omgeving moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Gerealiseerd moet worden dat bergen altijd betekent dat er een diffuse verontreinigingsbron in het milieu wordt gebracht. Alle maatregelen hebben een tijdig effect. De levensduur en de betrouwbaarheid van foliën en de andere afdichtingsmiddelen zijn niet exact bekend. Continue monitoring is noodzakelijk om te onderzoeken of de verontreinigingen zich niet verspreiden in het milieu, een goede beheersbaarheid van de bergingslocatie speelt hierbij een belangrijke rol. Bij de berging van vervuilde specie wordt ernaar gestreefd de stroming door de opgeslagen specie te minimaliseren. Indien de stroming of flux verwaarloosbaar is dan wordt de verspreiding bepaald door diffusie. Dergelijke processen zijn zeer traag.

2.7.1 Opslag op het land boven het grondwater:

Inzetbaarheid	:	–	Grotere beheersbaarheid van de deponie ten opzichte van het bergen in water. – Afhankelijk van de beschikbaarheid van een locatie, hierbij speelt een rol: – ruimte beslag – functieverlies van het gebied – geo-hydrologische situatie, bepaalt deels de verspreiding.
Kosten	:	–	Worden bepaald door het vereiste voorzieningen niveau. Voor bedijkte opslag onder IBC criteria: f 20 - 60,- per m ³ . Opslag in putten zonder extra voorzieningen ca f 10,- per m ³ .
Capaciteit	:	–	De capaciteit wordt bepaald door het beschikbare oppervlak.
Gevolgen, milieu	:	–	Verspreiding van de verontreiniging door uittredend poriënwater tijdens de consolidatiefase naar bodem en grondwater en eventueel naar het oppervlaktewater.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

- Verspreiding door diffusieprocessen naar bodem en grondwater.
- Gebruik : – Rekening moet worden gehouden met het ruimtebeslag en het optredende functieverlies van het gebied wat als depot wordt ingericht.
- Gezondheid : – Mogelijke bedreiging van de grondwaterwinning.

2.7.2 Opslag op het land onder het grondwaterniveau

- Inzetbaarheid : – Er bestaat een blijvend en gegarandeerd gereduceerd milieu waardoor de zware metalen vrijwel immobiel zullen zijn.
- Inzicht in de geo-hydrologische situatie en de opbouw van de grondlagen is vereist om een indruk te krijgen van de verspreiding tengevolge van diffusie.
- De verspreiding van organische verontreinigingen, arseen en chroom moeten worden beperkt bijvoorbeeld door het aanbrengen van een kleilaag met een hoog gehalte aan organische stof.
- Bij ontbreken van een afdichtende, diffusieremmende, onderlaag van klei moet een isolerende onderlaag worden aangebracht.
- Bestaande zandputten zijn geschikt als mogelijke locaties.
- Kosten : – Afhankelijk van het vereiste voorzieningenniveau (bijvoorbeeld peilbeheersing) bedragen de kosten circa f 10,- per m³.
- Capaciteit : – De capaciteit wordt bepaald door het beschikbare oppervlak.
- Gevolgen, milieu : – Mogelijk een beperkte verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater.
- Gebruik : – Indien gebruik wordt gemaakt van bestaande zandputten dan is het ruimtebeslag minimaal.
- Gezondheid : – N.v.t.

2.7.3 Onderwateropslag:

- Inzetbaarheid : – Berging onder water vraagt per volume-eenheid baggerspecie meer oppervlak dan berging op land.
- De beschikbaarheid van locaties geeft minder ruimtelijke ordeningsproblemen.
- Door de blijvend anaerobe omstandigheden zijn de zware metalen vrijwel volledig geïmmobiliseerd.
- Bij organische verontreinigingen moeten maatregelen worden getroffen om de diffusie te remmen.
- Rekening houden met de stromingsrichting van het grondwater, wel of geen kwel etc.

Beslissystematiek sanering waterbodems
Eindrapport

Kosten	:	–	Zonder extra voorzieningen f 4 - 10,- per m ³ . Als IBC criteria moeten worden aangehouden dan f 35 - 60,- per m ³ .
Capaciteit	:	–	De capaciteit wordt bepaald door het beschikbare oppervlak.
Gevolgen, milieu	:	–	Mogelijke verontreiniging van het oppervlaktewater en/of grondwater.
Gebruik	:	–	Mogelijke beperkte nadelige invloed op recreatie, visserij.
Gezondheid	:	–	Onbekend.

2.8 Verspreiden

Algemene kenmerken:

Verspreiden van baggerspecie op land of in zee komt alleen in aanmerking voor niet verontreinigde specie (streefwaarde). Schone fracties die ontstaan na reinigen en die voldoen aan de normen komen ook voor verspreiding in aanmerking.

Inzetbaarheid	:	–	Alleen specie die voldoet aan de streefwaarde komt voor verspreiding in aanmerking.
Kosten	:	–	Kosten worden bepaald door de transportkosten (zie 1.5).
Capaciteit	:	–	N.v.t.
Gevolgen	:	–	Geen.