



LANGE TERMIJN GEDRAG EN RECYCLING VAN CEMENTGEBONDEN IMMOBILISAAT

eindrapport

Oprachtgever / Client

CIM Centrum voor Immobilisatie
t.a.v. de heer drs. E. Vega
Postbus 420
2800 AK GOUDA

Ons kenmerk / Our reference

A828340/R20050273/UHo/eal

Autorisatie / Authorisation

dr.ir. G. van der Wegen

Datum / Date

13 januari 2006

Auteur / Author

dr. U. Hofstra



INHOUDSOPGAVE

	Pagina
SAMENVATTING	3
1. INLEIDING	4
2. ONDERZOEKSOPZET	4
3. BESCHRIJVING VAN DE LOCATIE	6
4. VISUELE INSPECTIE VAN DE CONSTRUCTIE	7
5. MONSTERNEMING	9
6. VISUELE BEOORDELING VAN DE BOORKERNEN	10
7. DRUKSTERKTE.....	11
8. MILIEUHYGIËNISCHE KWALITEIT	12
8.1. Organische samenstelling.....	12
8.2. Kolomproeven en beschikbaarheidsproef	13
8.3. Diffusieproeven aan geboorde cilinders	14
9. ONDERZOEK GERECYCLED IMMOBILISAAT	14
10. CONCLUSIES.....	14
BIJLAGE 1 MONSTERNEMINGSPLAN.....	14
BIJLAGE 2 RAPPORTAGE MONSTERNEMING	14
BIJLAGE 3 ONDERZOEKSRAPPORT IMMOBILISAAT BIJ AANLEG.....	14
BIJLAGE 4 LABONDERZOEK OORSPRONKELIJK IMMOBILISAAT	14
BIJLAGE 5 LABONDERZOEK GERECYCLED IMMOBILISAAT.....	14

SAMENVATTING

7 jaar geleden is cementgebonden immobilisaat van verontreinigde grond toegepast als funderingslaag onder een weg op een bedrijfsterrein. De eigenschappen van dit immobilisaat zijn nu opnieuw onderzocht.

Het materiaal lijkt zich in de praktijk goed gedragen te hebben. Er zijn geen reflectiescheuren in het bovenliggende asfalt opgetreden. Het immobilisaat vertoont geen gebreken en heeft een sterke structuur.

Er zijn een groot aantal boorkernen genomen die in het laboratorium beproefd zijn. De boorkernen zien er homogeen uit. De gemiddelde druksterkte is 5,5 MPa.

De milieuhygiënische eigenschappen (gehalte organische stoffen en uitloging anorganische stoffen) komen op hoofdlijnen overeen met de eigenschappen na aanleg van het immobilisaat. De uitloging voldoet ruim aan de eisen voor vormgegeven categorie 1A-bouwstoffen.

Het gebroken immobilisaat heeft een CBR-toename (maat voor het draagvermogen), die overeenkomt met dat voor menggranulaat en betongranulaat.

Het gebroken immobilisaat laat zich prima verwerken tot gerecycled immobilisaat bij een cementgehalte van 4 %m/m. De druksterkte is dan gemiddeld 3 MPa. Een verdubbeling van het cementgehalte geeft slechts een geringe toename van de druksterkte, omdat die vooral bepaald wordt door de korrelsterkte van het gebroken primaire immobilisaat.

De uitloging van het gerecyclede immobilisaat voldoet opnieuw aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit als vormgegeven categorie 1A-bouwstof.

1. INLEIDING

De kwaliteit van immobilisaat van cementgebonden minerale reststoffen is in een groot aantal projecten aangetoond. Inmiddels is ook de Nationale Beoordelingsrichtlijn BRL 9322 beschikbaar voor producenten van immobilisaat om aan te tonen dat hun product voldoet in de toepassing als funderingslagen in de GWW.

Hoe gedraagt zich echter het immobilisaat op lange termijn in de praktijk? Voor opdrachtgevers is dit een belangrijke vraag, mede gezien de lange gebruiksduur van funderingslagen in de wegenbouw. Vanuit ervaring in het verleden met zand-cementstabilisaties als funderingslagen, waarbij door krimpgedrag scheurvorming in het bovenliggende asfalt optrad, zijn er bij opdrachtgevers vragen over de lange termijn kwaliteit.

En als de funderingslaag wordt opgebroken, wat kan er dan met het oude immobilisaat gebeuren? Voor wegbeheerders is de totale levenscyclus van de weg van belang. Niet alleen de kwaliteit tijdens de gebruiksfase, maar ook de verwerking van de vrijkomende materialen bij renovatie of reconstructie van een weggedeelte. Kunnen de vrijkomende immobilisaten dan op een verantwoorde wijze verwerkt worden?

Om deze twee vragen te beantwoorden heeft het Centrum voor Immobilisatie (CIM) een praktijkonderzoek geïnitieerd naar het lange termijn gedrag van cementgebonden immobilisaten, toegepast als wegfundering.

De resultaten van dit onderzoek, dat in opdracht van het CIM is uitgevoerd door INTRON BV te Sittard, worden in dit rapport beschreven.

2. ONDERZOEKSOPZET

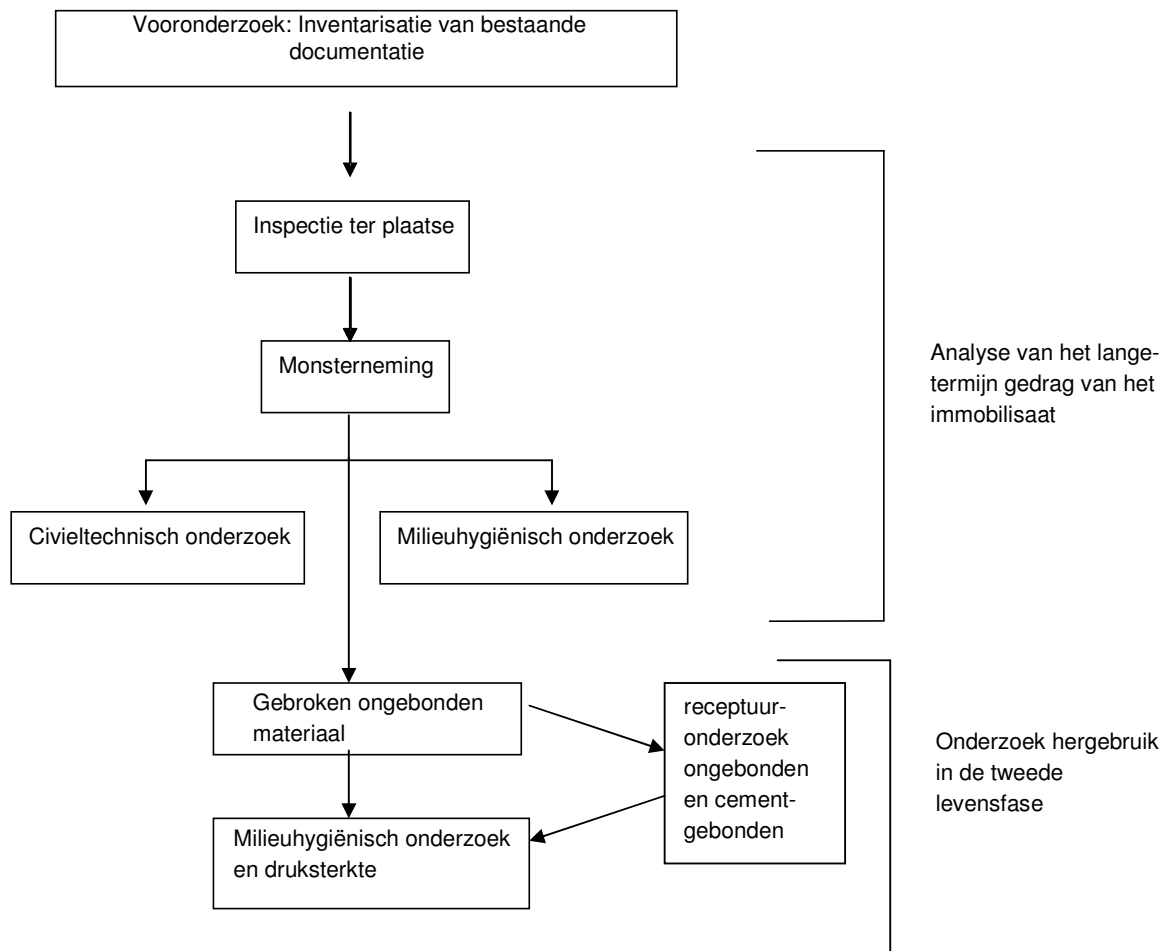
In eerste instantie is door de Technische Commissie van het CIM een project geselecteerd, wat geschikt is om een lange termijn beoordeling op uit te voeren.

Voor de selectie van dit project golden een aantal criteria:

- het immobilisaat dient minstens 5 jaar geleden aangelegd te zijn. Gezien de nieuwigheid van immobilisatie als techniek, was dit een selectief criterium;
- er dienen voldoende gegevens beschikbaar te zijn uit de aanlegfase om een zinvolle vergelijking te kunnen maken tussen de kwaliteit nu en de kwaliteit direct na aanleg van het immobilisaat;
- het immobilisaat dient bij voorkeur te zijn samengesteld uit grondstoffen, die nu genoemd worden in de BRL, dus verontreinigde grond en/of AVI-bodemas en/of baggerspecie;

- het immobilisaat is in een reguliere GWW-toepassing gebruikt, die daarna door verkeer is belast;

Het onderzoek bestaat uit een aantal fasen, die weergegeven zijn in onderstaand schema .



Het project, wat aan de bovengenoemde criteria het best bleek te voldoen, is het project bedrijfsterein Biowier te Middenmeer.

3. BESCHRIJVING VAN DE LOCATIE

De onderzoekslocatie is het bedrijfsterrein van Biowier te Middenmeer (Noord-Holland). Biowier is een bedrijf, dat zich bezighoudt met biologische grondreiniging. Het bedrijf is gelegen in de Wieringermeerpolder vlakbij Medemblik op een bedrijfslocatie, waar zich meerder afvalinzamelactiviteiten plaatsvinden.

De biologische grondreiniging speelt zich af in een grote bedrijfshal van 13.825 m². Hier omheen (aan de voorzijde, aan de achterzijde en aan één zijkant) ligt een geasfalteerde weg. De funderingslaag van deze geasfalteerde weg is een immobilisaat. De totale lengte van de weg is 220 m. De breedte van de weg is 11 m.



Overzicht over de weg aan de zijkant van de hal



Weg van voorzijde naar achterzijde.

De asfaltweg wordt gebruikt door vrachtauto's en door bedrijfsvoertuigen voor het transport van verontreinigde grond en van schone grond. Er wordt grond de bedrijfshal in gereden en er wordt grond van en naar de depots aan de andere zijde van de asfaltweg tegenover de hal gereden.

De funderingslaag van immobilisaat is in 1998 aangelegd onder verantwoordelijkheid van De Vries en Van de Wiel Milieutechniek. Het immobilisaat is gemaakt met als grondstof verontreinigde grond afkomstig van saneringswerkzaamheden in Leiden. De verontreinigde grond was zandig met een laag gehalte organische stof < 1%. De kritische verontreinigingen betroffen met name koper, lood en zink.

Bij de aanleg van het immobilisaat is de funderingslaag volgens opgave van de producent waarschijnlijk om de 5 meter gekerfd. Dit is de standaard werkwijze van De Vries en Van der Wiel Milieutechniek. Er zijn geen andere maatregelen genomen om scheurvorming te voorkomen, zoals het aanbrengen van een glij- of kleeflaag, die het asfalt scheidt van het immobilisaat.

De laagdikte van het immobilisaat is ca. 40 cm. De asfaltlaag heeft een dikte van 8 cm op de rechte stukken tot maximaal 14 cm in de hoeken van het terrein, waar de te verwachten krachten het grootst zijn.

De beschikbare gegevens van de onderzoekslocatie zijn opgenomen in bijlage 3 en betreffen:

- druksterkte en dichtheid van proefstukken na 28 dagen verharding
- milieuhygiënische gegevens van de grondstof en van het immobilisaat

4. VISUELE INSPECTIE VAN DE CONSTRUCTIE

Het asfalt ziet er over het gehele traject goed uit. Om de kwaliteit van het asfalt goed te kunnen beoordelen was het asfalt tevoren schoon gespoten.

Er zijn over het gehele traject geen scheuren aangetroffen dwars op de weg. Dwarsscheuren zouden kunnen wijzen op krimpscheuren in het onderliggende immobilisaat. Reflectiescheuren ten gevolge van krimpscheuren in de onderliggende laag worden dwars op de weg verwacht, omdat hier de grootste spanningen optreden. In de dwarsrichting is de weg slechts enkele meters breed en kan eventuele krimp gemakkelijker worden opgevangen.

In de lengte richting zijn ca. 1 meter van de rand van de van de weg (niet aan de hal-zijde) twee lengtescheuren van een aantal meters lang waargenomen.



Scheur in de lengterichting van de weg



Detail van de scheur (natgemaakt)



Deze scheuren in de lengterichting vlak bij de rand van de weg zijn veroorzaakt door onvoldoende draagvermogen van de ondergrond. Door de zware voertuigen die zich op en over de rand van de weg van en naar de daargelegen depots begeven is het asfalt met de funderingslaag aan de buitenzijde verzakt en daardoor gebroken.



Uit onderzoek van de scheur blijkt, dat de scheurwijdte in het immobilisaat van boven naar beneden afneemt. De scheurwijdte is 3 – 4 mm in de asfalt laag en 2 – 6 mm in de immobilisaatlaag.

Scheur in boorgat

Op een groot aantal plaatsen is het asfalt opengebrosen en is het immobilisaat visueel geïnspecteerd op een groot aantal plaatsen. Het immobilisaat vertoont geen gebreken en heeft een sterke structuur. Het bleek niet mogelijk handmatig monster te nemen van het immobilisaat. Het immobilisaat is namelijk taai en niet bros. Bij bewerken met een mokerhamer om er stukken af te slaan trad geen verbrotting op.



Ook aan de rand van de laag is er geen teken van verbrokkeling of verkrumeling (zie foto)



5. MONSTERNEMING

De monsterneming bestond uit het nemen van een 20-tal geboorde kernen aselekt verdeeld over het gehele oppervlak. De monsterneming van de kernen voor het milieuhygiënische onderzoek is geheel uitgevoerd conform het gebruikersprotocol Bouwstoffen. Het gevolgde protocol is SIKB protocol 1019. Het monsternemingsplan en de gedetailleerde rapportage van de monsterneming en de beschrijving van de geboorde kernen zijn opgenomen in respectievelijk bijlage 1 en bijlage 2.

De lengte van de kernen is 40 ± 4 cm over de gehele lengte van het traject. Alleen aan het begin (voorzijde) en aan het eind (achterzijde) is de immobilisaatlaag ca. 10 cm dunner. De kernen zijn in twee stappen bemonsterd vanwege de lengte van de boor.

Naast de kernen is nog een hoeveelheid (ca. 1 m^3) immobilisaat bemonsterd ten behoeve van het recyclingsonderzoek naar het maken van nieuw immobilisaat met oud immobilisaat. Deze hoeveelheid is op het laboratorium gebroken en goed gehomogeniseerd. Op een deelmonster van het gebroken materiaal is een kolomproef uitgevoerd. Het resultaat hiervan bleek overeen te komen met het resultaat van de kolomproef uit de formele partijkeuring. Hieruit concluderen we, dat het bemonsterde immobilisaat representatief is voor de gehele partij.

6. VISUELE BEOORDELING VAN DE BOORKERNEN

De boorkernen zijn ter plaatse en aanvullend op het laboratorium visueel beoordeeld.



In de afbeelding links zijn een aantal bemonsterde kernen weergegeven. Het immobilisaat ziet er homogeen uit en vertoont een goede verharding. Er is geen los onverhard materiaal aangetroffen. Naast zand zijn er grovere delen in het immobilisaat zichtbaar: slakken en puin. Daarnaast komen in geringe mate stukjes hout voor.

Een meer volledige beschrijving van de kernen is gegeven in de bijlage 2.

De kernen zijn lichtgrijs gekleurd. Bij splijten is geen blauwe glans waargenomen. We concluderen, dat als bindmiddel portlandcement gebruikt is en geen hoogovencement.

Voor 4 boorkernen is de carbonatiediepte bepaald volgens RILEM CPC 18. Hierbij wordt een kern gespleten en de pH van het oppervlakte bepaald met een fenolftaleïne oplossing. De carbonatiediepte bleek kleiner dan $d_c < 0,5$ mm.



7. DRUKSTERKTE

Van 6 boorkernen verdeeld de gehele weg is de druksterkte bepaald volgens RAW proef 22.1. Hierbij zijn zowel proefstukken uit de bovenkant van de boorkernen als uit de onderkant van de kernen genomen.

Tabel 1. Druksterkte van onderzochte kernen

kern	boven/onder	druksterkte	vol.massa
3	onder	6,6 MPa	2020 kg/m ³
6	boven	7,0 MPa	1990 kg/m ³
6	onder	3,0 MPa	1830 kg/m ³
4	boven	6,8 MPa	2060 kg/m ³
7	onder	4,3 MPa	2040 kg/m ³
12	boven	5,3 MPa	1890 kg/m ³

De gemiddelde druksterkte gelijk aan 5,5 MPa. De gemiddelde volumieke massa is 1970 kg/m³. De immobilisaat uit de bovenlaag heeft waarschijnlijk door een grotere verdichting een iets grotere druksterkte dan het immobilisaat uit de onderlaag. Bij kern 6, die homogeen van samenstelling is, komt dit verschil in druksterkte ook tot uiting in de hogere dichtheid van het materiaal boven in de laag. Bij de andere kernen is er een minder duidelijke relatie tussen de volumieke massa en de druksterkte, omdat de volumieke massa ook bepaald wordt door andere factoren dan de verdichtinggraad, zoals de aanwezigheid van grove bestanddelen.

Bij de aanleg in 1998 heeft ook een onderzoek plaatsgevonden naar de druksterkte. Tijdens de productie van het immobilisaat zijn proefstukken na 28 dagen verharding beproefd op druksterkte, hetgeen resulteerde in een gemiddelde waarde van 5,3 MPa. Dit betrof echter laboratoriumproefstukken in plaats van geboorde kernen in het werk. Bij laboratoriumproefstukken verwachten altijd een hogere druksterkte door de beter realiseerbare menging en verdichting op labschaal.

Het immobilisaat lijkt na 5 jaar dus in druksterkte te zijn toegenomen.

8. MILIEUHYGIËNISCHE KWALITEIT

De milieuhygiënische kwaliteit van het immobilisaat is onderzocht door het uitvoeren van een partijkeuring conform het Gebruikersprotocol Bouwstoffen.

Het milieuhygiënisch onderzoek aan het immobilisaat bestaat uit een kolomproef, een beschikbaarheidsproef en een diffusieproef (uitvoering in tweevoud). De kolomproef geeft een beeld van het uitlooggedrag van het gebroken materiaal wanneer dit ongebonden zou worden hergebruikt. Tevens worden hieruit de relevante componenten voor de diffusieproef afgeleid. Het doel van de diffusieproef is om een beeld te krijgen van de huidige milieukwaliteit van het immobilisaat na 7 jaar toepassing als funderingslaag.

Voor het milieuhygiënische onderzoek aan het immobilisaat zijn uit de 20 bemonsterde kernen aselect 2(voud) x 6 kernen genomen. Deze zijn in de lengte in twee deekernen verdeeld. De ene deekern is onderzocht in de diffusieproef (6 kernen per proef), de andere deekern is gebroken en gebruikt voor het onderzoek van de uitloging met de kolomproef, de beschikbaarheidsproef en voor de bepaling van het gehalte aan organische componenten.

De verkregen onderzoeksresultaten zijn in onderstaande tabellen weergegeven. Ter vergelijking zijn de resultaten bij aanleg van het immobilisaat (voor zover beschikbaar) eveneens in de tabellen opgenomen. .

Bij een partijkeuring conform Gebruikersprotocol Bouwstoffenbesluit moet een zekerheidsfactor gehanteerd worden, die hoort bij de monsterneming (2 grepen, 6 kernen, (ZF=1,37) voor organische samenstelling en kolomproef en (ZF=1,3) voor de diffusieproef). Om een betere vergelijking te kunnen doen met de data uit 1998 is dat in de onderstaande tabellen niet gedaan.

8.1. Organische samenstelling

De resultaten van de analyses van het gehalte organische componenten zijn opgenomen in tabel 2.

Tabel 2. Organische samenstelling van het immobilisaat. De resultaten "samenstelling 2005" zijn het gemiddelde van de mengmonsters. De grenswaarden zijn de huidige grenswaarden uit het Bouwstoffenbesluit.

component	samestelling 2005 (mg/kg ds)	samestelling 1998 (mg/kg ds)	grenswaarde (mg/kg ds)
benzeen	< 0,05		1,25
ethylbenzeen	< 0,05		1,25
tolueen	< 0,05		1,25
xylenen (som)	< 0,07		1,25
fenol	< 0,75		1,25
naftaleen	0,4	< 0,05	5
fenantreen	1,4	1,4	20
anthraceen	0,25	0,31	10
fluorantheen	2,1	2,7	35
benzo(a)anthraceen	0,82	1,2	50
chryseen	0,89	0,98	10
benzo(k)fluorantheen	0,42	0,44	50
benzo(a)pyreen	0,77	0,81	10
benzo(ghi)peryleen	0,50	0,50	50
indeno(123cd)pyreen	0,63	0,39	50
PAK som	7,2	8,7	75
EOX	3,2	2,9	3
minerale olie	140	210	500

Het huidige gehalte aan organische contaminanten komt vrijwel geheel overeen met het gehalte aan organische contaminanten in 1998. Het gehalte minerale olie lijkt iets afgenomen. Mogelijk is er langzame degradatie van de olie opgetreden.

8.2. Kolomproeven en beschikbaarheidsproef

De uitloging uit het immobilisaat is nu getoetst met de kolomproef (NEN 7343). De uitlogproeven uit 1998 zijn verkregen met de zogenaamde cascadeproef in de korte 1-traps versie. Deze verkorte proef is hier weliswaar uitgevoerd met dezelfde L/S verhouding: L/S = 10, maar kan desondanks wat resultaten betreft afwijken van de kolomproef.

De uitloging is ook onderzocht met de beschikbaarheidsproef (NEN 7341). De beschikbaarheidsproef geeft de maximale uitlogbaarheid per component weer. De beschikbaarheidsproef wordt uitgevoerd aan fijngemalen materiaal (< 125 µm); de kolomproef en de cascadeproef worden uitgevoerd aan gebroken materiaal (< 4 mm). De beschikbaarheidsproef wordt uitgevoerd bij een opgelegde pH = 7 en pH = 4. Bij de cascadeproef en de kolomproef legt het materiaal, indien dat bufferende capaciteit bezit, de pH op aan het eluaat.

Tabel 3. Uitloging als niet-vormgegeven bouwstof van het immobilisaat. De resultaten uit 2005 zijn het gemiddelde van de mengmonsters. De grenswaarden zijn de huidige grenswaarden uit het Bouwstoffenbesluit.

component	beschikbaarheid 2005 (mg/kg ds)	kolomproef 2005 (mg/kg ds)	cascadeproef 1998 (mg/kg ds)	grenswaarde 0,4 m (mg/kg ds)
antimoon	0,80	0,041	0,17	0,187
arseen	< 2,6	< 0,25	< 0,1	0,94
barium	81	0,67	0,3	26,4
cadmium	0,063	< 0,005	< 0,001	0,04
chromium	1,0	< 0,05	0,17	2,11
cobalt	1,8	0,165	< 0,1	0,60
koper	1,6	4,65	2,0	1,07
kwik	< 0,015	< 0,0015	< 0,001	0,019
lood	5,2	< 0,1	< 0,1	2,72
molybdeen	0,95	0,89	0,60	1,15
nikkel	4,4	0,525	0,3	1,43
seleen	< 0,2	< 0,02	< 0,05	0,161
tin	< 2	< 0,075	< 0,01	0,442
vanadium	< 1	0,19	0,7	6,2
zink	1200	< 0,2	< 0,1	5,2
fluoride	95	3,8	< 2	64,7
chloride	82	38	180	630
sulfaat	4500	500	1400	3510
bromide	< 5,1	0,7	< 1	3,5

De spreiding tussen de beide mengmonsters van de kolomproef en van de beschikbaarheidsproef is zeer gering (zie bijlage 4, analyseresultaten). Het immobilisaat is dus een homogeen materiaal.

Voor koper geeft de beschikbaarheidsproef geen goed beeld van de maximale uitloogbaarheid. De oorzaak hiervan is de pH-afhankelijkheid van de uitloging. De beschikbaarheidsproef wordt uitgevoerd bij een opgelegde pH = 7 en pH = 4. De uitloging van koper neemt juist toe bij zeer hoge pH, zoals die in een de cementmatrix ontstaat en die in de kolomproef en in de "cascadeproef" wordt opgelegd aan het eluaat (pH = 12,1 bij L/S = 1 en pH = 11,5 bij L/S = 10).

De uitloging van de anionen (chloride, sulfaat, vanadaat) is nu lager dan in 1998. De gemeten uitloging van koper is hoger. Bedacht moet worden, dat er verschillende proeven zijn uitgevoerd, zodat de resultaten niet helemaal vergelijkbaar zijn. verschillend van tientallen procenten zijn hierdoor mogelijk. Verschillen van meer dan een factor 2, zoals bij koper wijzen op een andere oorzaak, zoals een verschil in pH tijdens de proef. De (korte) cascadeproef is uitgevoerd na 28 dagen, waarbij misschien nog niet de maximale pH in het immobilisaat bereikt is. Er zijn geen gegevens van de pH bij de cascadeproef meer beschikbaar om dit te verifiëren.

De uitloging van koper overschrijdt de eisen uit het Bouwstoffenbesluit bij een toepassingshoogte van 0,4 meter.

Het gebroken immobilisaat voldoet dus niet aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit voor de toepassing als ongebonden granulair materiaal vanwege een te hoge uitloging van koper. Dit betekent, dat het tweede generatie immobilisaat ongebonden niet voldoet aan de eisen.

8.3. Diffusieproeven aan geboorde cilinders

De uitloging uit het oude immobilisaat is getoetst met de diffusieproef (NEN 7345), evenals de uitloogproeven uit 1998. Echter bij de proeven in 1998 is de diffusieproef uitgevoerd in verkorte vorm en zijn de resultaten geëxtrapoleerd. De eisen zijn in 1998 getoetst aan de eisen van de IPO-nota Werken met secundaire grondstoffen.

Het massaverlies in de diffusieproef is 48 g/m^2 , resp. 49 g/m^2 voor de beide mengmonsters. Het massaverlies voldoet dus ruimschoots aan de eis voor duurzame vormvastheid uit de BRL 9322 (eis: massaverlies: $< 200 \text{ g/m}^2$).

Tabel 4. Uitloging als vormgegeven bouwstof van het immobilisaat. De resultaten "uitloging 2005" zijn het gemiddelde van de mengmonsters. De grenswaarden zijn de huidige grenswaarden uit het Bouwstoffenbesluit.

component	berekende immissie 2005 (mg/m^2)	berekende immissie 1998 (mg/m^2)	cat.1 grenswaarde (mg/m^2)
koper	131	72	540
molybdeen	71	67	450
sulfaat	13.000	25.000	135.000
bromide	< 56	13	90

De uitloging van alle componenten voldoet ook na 5 jaar ruimschoots aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit.

De uitloging van molybdeen lijkt vrijwel gelijk gebleven. De uitloging van sulfaat is afgenomen en de uitloging van koper lijkt toegenomen in overeenstemming met resultaten van de uitloging van het gebroken materiaal. Gezien de verschillen in proefuitvoering moeten conclusies over verschillen voorzichtig gehanteerd worden.

Een mogelijk oorzaak van de afname van de uitloging van sulfaat is de vorming van dubbelzouten, waardoor sulfaat chemisch wordt vastgelegd. De oorzaak voor de toename van de uitloging van koper

is onbekend. Mogelijke effecten zijn veroudering, wat tot uiting zou komen in een pH-effect. Dit kan echter niet geverifieerd worden.

9. ONDERZOEK GERECYCLED IMMOBILISAAT

Bij het onderzoek naar het gedrag van immobilisaat in de tweede levensfase zijn monsters van het immobilisaat opgewerkt door immobilisaat te breken tot materiaal met korrelgrootte 0/20 mm. Zowel het gebroken materiaal als zodanig als het opnieuw met cement gebonden materiaal is onderzocht. Van het gebroken materiaal is het draagvermogen bepaald door een CBR-proef uit te voeren conform RAW proef 12.3. Met proctorproeven conform RAW proef 5.1 is de verdichtingsgraad en het optimale vochtgehalte vastgesteld. Van het gebroken materiaal zijn ook cementgebonden proefstukken gemaakt. Hierbij zijn twee cementgehalten onderzocht: 4 %m/m CEM I 42,5 R en 8 %m/m CEM I 42,5 R. Na 28 dagen verharding is de druksterkte conform RAW proef 22.1 bepaald. Vervolgens is een milieuhygiënisch onderzoek aan het materiaal uitgevoerd.

Het gebroken materiaal heeft onmiddellijk na bereiding van de proefstukken een CBR-waarde van 72 % (absoluut). De CBR-toename na 28 dagen is 149 % (relatief ten opzichte van de waarde bij 0 dagen).

Het materiaal voldoet hiermee ruim aan de eisen voor menggranulaat en betongranulaat uit de RAW 2000: ten minste 50 % onmiddellijk na bereiden van de proefstukken en bij een ouderdom van 28 dagen ten minste 125 % van de CBR-waarde, ten opzichte van de waarde onmiddellijk na de bereiding van de proefstukken.

De gevonden waarden voor immobilisaat zijn normale waarden voor menggranulaat en betongranulaat. De in de praktijk gevonden waarden voor de CBR-toename van menggranulaat en betongranulaat varieert sterk van 125 % (eis) tot 220 %, 150 % is een normaal voorkomende waarde.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 7 voldoet het gebroken immobilisaat als granulair materiaal niet aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit. Met het gebroken immobilisaat is nieuw cementgebonden immobilisaat aangemaakt met 4 %m/m cement en met 8 %m/m cement.

Het optimum vochtgehalte voor verdichting is vastgesteld op 16,4 %m/m vocht. De maximale proctordichtheid was 2142 kg/m³.

Per receptuur zijn 3 proefstukken na 28 dagen beproefd op druksterkte.

Tabel 5. Druksterkte proefstukken gerecycled immobilisaat na 28 dagen verharding bij 2 cementgehalten

proefstuk	4 %m/m cement	8 %m/m cement
1	2,9 MPa	3,3 MPa
2	3,1 MPa	3,3 MPa
3	3,1 MPa	3,7 MPa
gemiddeld	3,0 MPa	3,4 MPa

De spreiding in de druksterkte is gering. De homogeniteit van het immobilisaat is dus goed. De druksterkte voldoet ruim aan de eis voor de druksterkte uit de Beoordelingsrichtlijn BRL 9322: druksterkte > 1,5 MPa.

De druksterkte is iets lager dan de druksterkte van het primaire immobilisaat (5,5 MPa). Cementgebonden gebroken materiaal zal altijd een lagere druksterkte hebben dan het oorspronkelijke materiaal. De invloed van het cement is beperkt, omdat het materiaal vooral uit korrels bestaat. door verdubbeling van de hoeveelheid cement neemt de druksterkte maar in geringe mate toe. De korrelsterkte is maatgevend. Door het breken is de korrelsterkte afgenomen door de vorming van microscheurtjes en scherpe hoeken.

Het gerecyclede immobilisaat is milieuhygiënisch onderzocht met de kolomproef en met de diffusieproef.

Op dezelfde batch gebroken immobilisaat is ook een kolomproef uitgevoerd vóór de aanmaak van het nieuwe gerecyclede immobilisaat. Dit betreft een mengmonster uit de grote batch die gebruikt is voor de aanmaak van het immobilisaat.

Tabel 6. Kolomproef oorspronkelijk immobilisaat en gerecycled immobilisaat.

component	kolomproef oorspr (mg/kg ds)	kolomproef gerecycled 4% CEM I (mg/kg ds)	kolomproef gerecycled 8% CEM I (mg/kg ds)	grenswaarde 0,4 m (mg/kg ds)
pH (LS1-LS10)	12,21 – 11,74	12,71 – 12,31	12,74 – 12,38	
antimoon	0,024	< 0,02	< 0,02	0,19
arseen	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,94
barium	0,64	5,5	6,4	26
cadmium	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,04
chrom	< 0,05	< 0,05	0,07	2,1
cobalt	0,31	0,18	0,12	0,60
koper	4,7	2,5	1,5	1,1
kwik	< 0,0015	< 0,0015	< 0,0015	0,019
lood	< 0,1	0,49	0,43	2,7
molybdeen	0,89	0,64	0,18	1,15
nikkel	0,52	0,41	0,33	1,4
seleen	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,16
tin	< 0,075	< 0,075	< 0,075	0,44
vanadium	0,20	< 0,1	< 0,1	6,2
zink	< 0,2	0,76	1,0	5,2
fluoride	4,2	3,0	2,7	65
chloride	39	50	42	630
sulfaat	510	87	94	3510
bromide	0,9	< 0,5	< 0,5	3,5

Koper is de enige component die de grenswaarde voor niet-vormgegeven bouwstoffen overschrijdt. De uitloging door koper is in het gerecyclede immobilisaat wel weer lager dan in het oorspronkelijke immobilisaat. De uitloging van koper neemt 50% af voor het immobilisaat met 4 %m/m cement en 70 % voor het immobilisaat met 8 %m/m cement.

De uitloging door barium is afkomstig van het bindmiddel cement. De uitloging van de overige componenten neemt af door binding met het cement.

Tabel 7. Berekende immissie op basis van de gemeten uitloging in de diffusieproef NEN 7345.

component	immissie gerecycled immobilisaat 4 %m/m CEM I (mg/m ²)	immissie gerecycled immobilisaat 8 %m/m CEM I (mg/m ²)	grenswaarde (mg/m ²)
koper	490	250	540
molybdeen	67	21	450
sulfaat	7100	4000	135.000
bromide	< 57	< 57	90

De uitloging van alle componenten voldoet opnieuw in het gerecyclede immobilisaat ruimschoots aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit.

De uitloging uit het recycling immobilisaat met 8 % m/m cement is bijna een factor 2 lager dan uit het immobilisaat met 4 % m/m cement. Het gehalte cement in het recycling immobilisaat heeft wel invloed op de uitloging uit het immobilisaat. De uitloging kan dus gestuurd worden door aanpassen van het cementgehalte.



10. CONCLUSIES

In immobilisaat dat 7 jaar als funderingslaag in een wegconstructie is gebruikt, zijn geen krimpscheuren opgetreden. De druksterkte is even hoog als na aanleg. De milieuhygiënische eigenschappen (gehalte organische stoffen en uitloging anorganische stoffen) komen op hoofdlijnen overeen met de eigenschappen na aanleg van het immobilisaat.

Het gebroken immobilisaat heeft een CBR-toename (maat voor het draagvermogen), dat overeenkomt met dat voor menggranulaat en betongranulaat.

Het gebroken immobilisaat laat zich prima verwerken tot gerecycled immobilisaat bij een cementgehalte van 4 %m/m. Een verdubbeling van het cementgehalte geeft slechts een geringe toename van de druksterkte, omdat die vooral bepaald wordt door de korrelsterkte. De uitloging van het gerecyclede immobilisaat voldoet weer aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit als vormgegeven categorie 1A-bouwstof. met het gehalte cement kan de uitloging uit het recycling immobilisaat bepaald worden.

BIJLAGE 1 MONSTERNEMINGSPLAN



BIJLAGE 2 RAPPORTAGE MONSTERNEMING



BIJLAGE 3 ONDERZOEKSRAPPORT IMMOBILISAAT BIJ AANLEG



1. Inleiding

In dit rapport worden de resultaten van de immobilisatieproject uitgevoerd op Biowier van verontreinigd zand beschreven. Het onderzoek is uitgevoerd door Milieutechniek de Vries & van de Wiel. Uitvoering van de immobilisatieproject heeft medio mei 1998 plaats gevonden op de locatie Biowier te Middenmeer. Dit rapport geeft de onderzoeksresultaten en meetgegevens weer van het immobilisatieproject.

1.1 Verontreinigingsaspecten van het uitgaande materiaal

Het verontreinigde zand is afkomstig van saneringswerkzaamheden uit Leiden en de kritische verontreinigingen in het zand betroffen met name koper, lood en zink. De analyse-resultaten zijn bijgevoegd in bijlage 1.

De verontreinigingen in het zand zijn zowel van organische als van anorganische aard. De organische verontreinigingen overschrijden de interventie-waarde niet en de volgende anorganische verontreinigingen overschrijden de interventie-waarde: koper, lood en zink.

De streef- en interventie-waarden zowel voor standaardbodem als lokatiespecifieke bodem staan vermeld in bijlage 2.

1.2 Immobilisatie

Immobiliseren is het op milieuhygiënisch verantwoorde wijze vastleggen van verontreinigingen in een matrix. De wijze waarop dit gebeurt berust op een combinatie van chemische fixatie als fysisch-mechanische inkapseling. Voor het immobiliseren van de verontreinigde grond wordt gebruikt van het zogenaamde Vandofix-procédé.

De werking van het Vandofix-procédé is gebaseerd op zowel fysische als chemische vastlegging van verontreinigingen. Het fysische berust met name op inkapseling van de verontreinigingen en afscherming van vocht. De chemische vastlegging van verontreinigingen berust op binding tussen verontreinigingen en additieven. Ten aanzien van het vastleggen van anorganische verontreinigingen speelt met name het fysische effect een belangrijke rol en ten aanzien van de organische verontreinigingen het chemische effect.

1.3 Doelstelling van het onderzoek

Het doel van de immobilisatieproject is het inzicht verkrijgen van het verwerken van het verontreinigde zand middels koude immobilisatie (via het zogenaamde Vandofix-procédé) en het bepalen van de kwaliteit van het geproduceerde eindproduct.

1.4 Voorwaarden

Voorwaarden voor het geproduceerde eindprodukt zijn van milieuhygiënische en civieltechnische aard. Uitgangspunt is dat het eindprodukt enerzijds aan de milieuhygiënische eisen, zoals genoemd in het Bouwstoffenbesluit/IPO-nota juni 1997, voldoet en anderzijds aan de voorwaarden genoemd in het CUR-rapport 183. Met name de druksterkte en de dichtheid van het eindprodukt zijn hierbij belangrijk. Ten aanzien van de toepassing richt het immobilisatieproject zich op de verwerken van het eindprodukt in een (weg)fundering of verhardingslaag.

1.5 Verwerking immobilisaat

In totaal is op Biowier 2592 [ton] immobilisaat verwerkt. Het immobilisaat is gemaakt met behulp van een mobiele menginstallatie, type MOB-60. De verwerking van het geproduceerde materiaal heeft direct vanuit de mobiele installatie plaats gevonden. Voor de verdichting en de afwerking van het immobilisaat is gebruik gemaakt van een grader en een wals.

2. Fysisch-mechanisch onderzoek

2.1 Doelstelling

Het fysisch-mechanisch onderzoek is uitgevoerd op het 'Sterlab' gecertificeerde milieulaboratorium van Omegam te Amsterdam met als doel te bepalen of het eindprodukt voldoet aan de eisen van een wegfundering.

2.2 Voorwaarden

Het eindprodukt dient een minimale druksterkte ontwikkeld te hebben van 1,5 MPa (N/mm²) na 28 dagen verhardingstijd. Het onderzoek aan de verschillende kernen heeft plaats gevonden volgens "RAW Standaard 1995" § 31.67.03.

2.3 Onderzoeksresultaten

Voorafgaand aan de uitvoering van het immobilisatieproject is een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd naar de immoliseerbaarheid van het genoemde zand. Dit haalbaarheidsonderzoek heeft zich met name gericht op de fysisch-mechanische aspecten van het eindprodukt. Het haalbaarheidsonderzoek heeft in samenwerking met Omegam plaats gevonden en de resultaten van het haalbaarheidsonderzoek zijn gebruikt voor de definitieve receptuur van het immobilisaat. De resultaten van het haalbaarheidsonderzoek zijn niet opgenomen in deze rapportage.

Ten behoeve van de bepaling van de druksterktes zijn tijdens de productie van het immobilisaat cilinders gedrukt en van deze cilinders is de druksterkte na 28 dagen verharding bepaald. De resultaten zijn in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1

Proefstuk	Diameter	Hoogte [mm1]	Volumieke massa [kg/m3]	Druksterkte [MPa]
1B	94,4	100,2	2038	4,5
1O	94,3	101,0	2037	5,8
2B	94,0	103,2	1927	4,0
2O	94,1	100,8	2004	4,0
3	94,2	101,6	2069	3,9
4B	94,4	101,0	2087	7,6
4O	94,1	101,2	2050	6,6
5B	94,0	101,0	2037	5,6
5O	94,2	100,9	1954	5,3

2.4 Conclusies van het fysisch-mechanisch onderzoek

Op grond van het fysisch-mechanisch onderzoek kan geconcludeerd worden dat het eindproduct ruimschoots voldoet aan de functionele eisen voor wegfunderingsmateriaal.

3. Milieuhygiënisch onderzoek

3.1 Doelstelling

Het doel van het milieuhygiënisch onderzoek is het bepalen van de categorie-indeling van de bouwstof. Hierbij wordt zowel naar de samenstellingseisen als naar het uitlooggedrag gekeken. Het milieuhygiënisch onderzoek is uitgevoerd door het 'Sterlab' gecertificeerde milieulaboratorium van Omegam te Amsterdam.

3.2 Toetsingskader

Als wettelijk toetsingskader ten aanzien van de milieuhygiënische aspecten van het eindproduct fungeert de nota "omgaan met secundaire bouwstoffen" in het kader van het IPO en het Bouwstoffenbesluit, een en ander behorend bij de Wet Bodembescherming.

3.3 Onderzoekresultaten

Van het totaal aantal kernen van het geproduceerde eindproduct zijn vijf proefstukken geselecteerd voor de bepaling van de milieuhygiënische eigenschappen.

In overleg met Omegam is bepaald dat voorafgaand aan de diffusieproef (NEN-7345) een cascadeproef (NEN-7349) wordt uitgevoerd, met als doel de kritische verontreinigen te selecteren.

Indien uit de resultaten van de cascadeproef namelijk blijkt dat de verontreinigingen de U1A IPO 1997 norm niet overschrijden, overschrijden deze verontreinigingen de norm ook niet tijdens een diffusieproef.

De kernen van het geproduceerde immobilisaat zijn onderzocht op onderstaande stoffen en verbindingen:

- extraheerbare organische halogeenvbindingen (EOX);
- minerale olie;
- polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK-intron);
- chloride, sulfaat, fluoride en cyanide (vrij en totaal).

In aanvulling hierop is van onderstaande verbindingen de maximale uitloging bepaald tijdens een cascadeproef 1e trap BRBS:

- antimoon, arseen, barium, bromide, cadmium, chroom, cobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, seleen, tin, vanadium en zink.

De resultaten zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2.

Component (mg/kg ds)	Samenstellings- & uitlooggehalten immobilisaat	Berekende max. uitloging (mg/m ²)	U1A IPO 1997 norm in (mg/m ²)
Diverse parameters			
Droogrest	96,2	--	--
Homog. met kraakbreker	verkleind	--	--
Minerale olie	210 mg/kg ds	--	--
Extr. org. halogenen	2,9 mg/kg ds	--	--
PAK-Intron			
Naftaleen	< 0,05 mg/kg ds	--	--
Fenanthreen	1,4 mg/kg ds	--	--
Antraceen	0,31 mg/kg ds	--	--
Fluorantheen	2,7 mg/kg ds	--	--
Benz(a)antraceen	1,2 mg/kg ds	--	--
Chryseen	0,98 mg/kg ds	--	--
Benzo(k)fluorantheen	0,44 mg/kg ds	--	--
Benzo(a)pyreen	0,81 mg/kg ds	--	--
Benzo(ghi)peryleen	0,50 mg/kg ds	--	--
Indeno(1,2,3cd)pyreen	0,39 mg/kg ds	--	--
Som 10 PAK's	8,7 mg/kg ds	--	--
Uitloging diverse parameters			
L/S verh. (fractievol.)	10,0	--	--
Cascade 1e trap BRBS	gereed	--	--
Chloride	180 mg/kg ds	8100	18000
Cyanide (totaal)	< 0,03 mg/kg ds	< 1,2	7,1
Cyanide (vrij)	< 0,03 mg/kg ds	< 1,2	1,4
Sulfaat	1400 mg/kg ds	56000 #	27000
Fluoride	< 2 mg/kg ds	81	1300
Antimoon	0,17 mg/kg ds	6,86 #	3,7
Arseen	< 0,1 mg/kg ds	< 4	41
Barium	0,3 mg/kg ds	12,1	600
Bromide	< 1 mg/kg ds	< 44	29
Cadmium	< 0,001 mg/kg ds	< 0,04	1,1
Chroom	0,17 mg/kg ds	6,86	140
Cobalt	< 0,1 mg/kg ds	< 4	29
Koper	2,0 mg/kg ds	80,7 #	51

Kwik	< 0,001 mg/kg ds	< 0,04	0,43
Lood	< 0,1 mg/kg ds	< 4	120
Molybdeen	0,60 mg/kg ds	24,2 #	14
Nikkel	0,3 mg/kg ds	12,1	50
Seleen	< 0,05 mg/kg ds	< 2	1,4
Tin	< 0,01 mg/kg ds	< 0,4	29
Vanadium	0,7 mg/kg ds	28,2	230
Zink	< 0,1 mg/kg ds	< 4	200

Met een # aangegeven stoffen overschrijden de U1A norm

Op basis van de cascadeproef kan worden vastgesteld dat bij een maximale uitloging de U1A-norm volgens IPO-1997 wordt overschreden door de volgende stoffen: sulfaat, antimoon, koper en molybdeen.

Voor de stoffen seleen en bromide zijn geen gehalten boven de detectiegrens aangetoond. Aangezien deze stoffen ook niet gedetekteerd zijn in het immobilisaat, kunnen hier geen conclusies uit worden getrokken ten aanzien van het uitloggedrag. Er is dan ook besloten om beide stoffen op te nemen in de diffusieproef.

Naar aanleiding van bovenstaande resultaten is besloten conform IPO-juni 1997 tot uitvoering van een diffusieproef op de volgende stoffen: sulfaat, antimoon, koper, molybdeen, seleen en bromide.

De resultaten van de uitgevoerde diffusieproef (6 fracties) zijn in tabel 3 samengevat.

Tabel 3.

Uitlogende parameter	Cumulatieve uitloging absoluut	Cumulatieve uitloging in mg/m ²	U1A-norm (IPO juni 1997) mg/m ²	U1B&U2-norm (IPO juni 1997) mg/m ²
Sulfaat	582 mg	14800	27000	85000
Bromide	294 µg	7,5	29	90
Antimoon	69 µg	1,8	3,7	12
Koper	271 µg	6,9	51	165
Molybdeen	252 µg	6,4	14	45
Seleen	< 19 µg	< 0,48	1,4	4,5

Op grond van bovenstaande resultaten kan vastgesteld worden dat van de onderzochte stoffen geen overschrijdingen zijn aangetoond van de U1A-norm.

3.4 Conclusie

Op basis van de resultaten van het milieuhygiënisch onderzoek kan geconcludeerd worden dat er sprake is van een vormgegeven categorie-I bouwstof. De bouwstof mag derhalve ongeïsoleerd worden toegepast zowel onder permanente bevochtiging (U1B & U2A), als onder tijdelijke bevochtiging ten gevolge van atmosferische omstandigheden (U1A).



Bijlage 1

Analysesresultaten grondmonsters van de grond afkomstig van de Vrijheidslaan 151 te Leiden.

Monsters	M002	M007	M009
Droge stof (%)	84,7	88,3	78,9
Organische stof (% op ds)	< 1,0	--	19,2
pH-CaCl2	6,3	--	--
Meettemperatuur pH-meting (gr. C)	21	--	--
Zeefkromme analoog SCG (% op min. deel)			
> 2000 um (% *)	25	--	--
< 2000 um (% **)	100	--	--
< 1000 um (% **)	81	--	--
< 500 um (% **)	64	--	--
< 250 um (% **)	45	--	--
< 125 um (% **)	23	--	--
< 63 um (% **)	13	--	--
< 50 um (% **)	11,5	--	--
< 32 um (% **)	9,3	--	--
< 16 um (% **)	6,9	--	--
< 2 um (% **)	< 2,0	--	--
*) op totale monster			
**) op totaal 0 - 2000 um			
Metalen (ICP, NEN 6426)			
Chroom	79	53	24
Nikkel	120	58	22
Koper	1650	640	59
Zink	3500	3600	260
Cadmium	1,6	1,8	0,8
Lood	1400	590	300
Arseen	30	9,1	19,5
Kwik	0,27	< 0,1	0,58
Calciet (% op ds)	3,1	--	--
CN-totaal)	< 1,0	--	--
Totaal PAK's EPA	1,1	--	--
Totaal PAK's VROM	0,7	--	--
Totaal PAK's Borneff	0,6	--	--
E.O.X.	0,6	0,9	--
Minerale olie C10 - C40	79	--	--

Monsters	M011	M012	M012
Droge stof (%)	87,3	85,4	80,8
Organische stof (% op ds)	2,4	--	3,2
pH-CaCl ₂	7,7	--	--
Meettemperatuur pH-meting (gr. C)	18,9	--	--
Zeefkromme analoog SCG (% op min. deel)			
> 2000 um (% *)	46	--	--
< 2000 um (% **)	100	--	--
< 1000 um (% **)	95	--	--
< 500 um (% **)	85	--	--
< 250 um (% **)	66	--	--
< 125 um (% **)	36	--	--
< 63 um (% **)	27	--	--
< 50 um (% **)	27	--	--
< 32 um (% **)	24	--	--
< 16 um (% **)	22	--	--
< 2 um (% **)	14	--	--
*) op totale monster			
**) op totaal 0 - 2000 um			
Metalen (ICP, NEN 6426)			
Chroom	53	38	81
Nikkel	48	7	49
Koper	120	8,5	220
Zink	1950	1450	3400
Cadmium	1,5	0,8	2
Lood	260	380	1400
Arseen	7,4	8,7	19
Kwik	< 0,1	0,14	< 0,1
Calciet (% op ds)	6	--	--
CN-totaal)	< 1,0	--	--
Totaal PAK's EPA	6,6	0,9	--
Totaal PAK's VROM	4,4	0,6	--
Totaal PAK's Borneff	3,1	0,5	--
E.O.X.	8,2	3,3	--
Minerale olie C10 - C40	115	< 50	--

Bijlage 2

Lokatiespecifieke streef- en interventiewaarden

Specificatie bodem(%)

Organische stof	1,0
Lutum	2,0

Streef- en interventiewaarden (mg/kg droge stof)

	Standaardbodem		Lokatiespecifieke bodem		
	Streef	Interventie	Streef	Gemiddeld	Interventie
Metalen					
Chroom	100	380	54	130	205
Nikkel	35	210	12	42	72
Koper	36	190	17	53	89
Zink	140	720	58	177	296
Arseen	29	55	16	23	31
Cadmium	0,8	12	0,4	3,5	6,6
Lood	85	530	53	192	330
Kwik	0,3	10	0,2	3,6	6,9
Aromatische verbindingen (* = detektielimiet)					
Benzeen*	0,05	1	0,05	0,1	0,2
Tolueen*	0,05	130	0,05	13	26
Ethylbenzeen*	0,05	50	0,05	5	10
Xylenen (som)*	0,05	25	0,05	2,5	5
Totaal PAK's VROM	1	1	0,2	20	40
Minerale olie	50	5000	10	505	1000

BIJLAGE 4 LABONDERZOEK OORSPRONKELIJK IMMOBILISAAT



BIJLAGE 5 LABONDERZOEK GERECYCLED IMMOBILISAAT

