

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE  
BILTHOVEN

Rapportnr. 771401003 (HERZIENE VERSIE)

Milieutechnisch stabilisatie-onderzoek  
aan verontreinigd wegfunderingsmateriaal  
ten behoeve van hergebruik

I.H. Anthonissen (RIVM) en J.P. Smallegange (NBM)

december 1994

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en ten laste van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Afvalstoffen en is beschreven in het MAP 1992 onder projectnummer 771401.

**VERZENDLIJST**

- 1 Mr. W.J.K. Brugman, directeur Afvalstoffen van DGM
- 2 Dr.ir. B.C.J. Zoeteman, plv. DG Milieubeheer
- 3 Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse  
bibliografie
- 4 R.H. v. Wordragen, NBM Zuid BV Helmond
- 5 Ing. K.J. Dijkstra, NBM Zuid BV Helmond
- 6 G. Engbers, NBM Zuid BV Helmond
- 7 J.A. Poldervaart, NBM-Verstoep
- 8 Ir. W.H.F.C. Eschbach, NBM-Amstelland Infrastructuur en Milieu
- 9 Ing. R. Gelpke, NBM-Amstelland Infrastructuur en Milieu
- 10 Ir. F.M.Q. Bus, Rijkswaterstaat Limburg
- 11 Ing. G. te Selle, NBM BV Helmond
- 12 R. de la Roy, Metax
- 13 Directie RIVM
- 14 Ir. F. Langeweg
- 15 Ir. A.H.M. Bresser
- 16 Dr. Th. G. Aalbers
- 17 Dr. Ir. C.W. Versluijs
- 18 C. Kamphuis
- 19 Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations
- 20 Bibliotheek LAE
- 21 - 22 Bibliotheek RIVM
- 23 - 50 Auteurs
- 51 Bureau Projekten- en Rapportenregistratie
- 52 - 70 Reserve-exemplaren LAE

**INHOUDSOPGAVE**

VERZENDLIJST.....	ii
INHOUDSOPGAVE.....	iii
SUMMARY.....	iv
SAMENVATTING.....	v
1. INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK.....	1
2. MONSTERNAME EN MONSTERVOORBEWERKING.....	2
2.1 Monstername.....	2
2.2 Monstervoorbewerking.....	2
3. CIVIELTECHNISCH VOORONDERZOEK.....	3
3.1 Cement als bindmiddel.....	3
3.2 Geosta als bindmiddel.....	3
3.3 EMC als bindmiddel.....	3
3.4 Resultaten.....	3
3.5 Conclusies.....	4
4. HET MILIEUHYGIENISCH ONDERZOEK.....	5
4.1 Inleiding.....	5
4.2 Vervaardigde proefstukken.....	5
4.2.1 Cement als bindmiddel.....	5
4.2.2 Geosta als bindmiddel.....	5
4.2.3 EMC als bindmiddel.....	5
4.2.4 Druksterktes.....	5
4.2.5 Uithardingstijd.....	6
4.3 De resultaten van het samenstellings- en uitloogonderzoek...	6
4.4 Interpretatie van de resultaten.....	6
4.4.1 De samenstelling.....	6
4.4.2 Het uitlooggedrag.....	8
4.4.2.1 De beschikbaarheidstest.....	8
4.4.2.2 De standtest.....	8
4.4.2.3 De kolomtest.....	9
4.5 Conclusies uit het milieuhygiënisch vooronderzoek.....	10
5. EINDCONCLUSIE.....	11
6. LITERATUUROVERZICHT.....	12
7. INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN.....	13

**SUMMARY**

In order to reuse contaminated subbase material from a road in Limburg, a civil engineering and environmental investigation was conducted.

The aim of this investigation program was to determine which additive mixed with the sampled subbase material produces satisfactory civil engineering and environmental results.

Specimen were made from representative samples of this material together with different percentages of cement (4-7-10 and 12%), 20% of geosta, this being a mixture of 60% cement and 40% of geosta-E, which was supposed to be a promising immobilisation agent and finally a mixture of 3% of cement and 3% of bitumen emulsion (EMC).

The civil engineering pre-investigation showed that specimen made with at least 7% of cement meet the required compressive strength of 5 N/mm<sup>2</sup> after 28 days of curing. The specimen made with 20% of geosta did not meet the required compressive strength.

Specimen made with 7% and 12% of cement, 20% of geosta and EMC were subjected to an environmental investigation which specifically examined the leaching behaviour of arsenic, copper, lead and zinc and the composition of mineral oil and polycyclo aromatic hydrocarbons (PAH's).

This environmental investigation showed that the specimen with cement only meet the norms of category 1 as stipulated in the Dutch General Administrative Order on Building Materials. The others meet the norms of category 2.

The overall conclusion of this investigation is that the stabilisation of the sampled contaminated subbase with 7% of cement satisfactorially meets civil engineering and environmental requirements.

## SAMENVATTING

Bij de reconstructie van het wegtracé Nederweert-Meijel werd verdacht materiaal in de fundering aangetroffen. Na bemonstering [1] werd door de wegbeheerder, Rijkswaterstaat dienstkring West-Limburg, mede door het ontbreken van formele regelgeving, besloten het verontreinigde materiaal te ontgraven, in depot te zetten en af te dekken.

Samenstellingsonderzoek [1] leerde dat, afgezet tegen de normen uit de toenmalige stoffenlijst van de Wca en de Indicatieve Richtwaarden van het Toetsingskader Leidraad Bodemsanering [2] ca. 40% van het materiaal, aangeduid als de fijne fractie met een korrel <0.4 cm, matig tot sterk verontreinigd was met arseen, koper, lood, zink, minerale olie en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

Op initiatief van BV Aannemingsbedrijf NBM werd daarom in november 1991 een civieltechnisch en milieuhygiënisch laboratoriumonderzoek gestart naar de mogelijkheden om het in depot liggende materiaal te immobiliseren of te stabiliseren. Het doel hiervan was om een bijdrage te leveren aan een verantwoorde beslissing voor het hergebruik als wegfundering van het in depot opgeslagen verontreinigde funderingsmateriaal.

Voor de coördinatie van de verschillende aspecten bij het onderzoek werd een werkgroep samengesteld, bestaande uit vertegenwoordigers van Kansai Engineering, RIVM en NBM.

Voor het immobiliseren of stabiliseren werden, mede ter onderlinge vergelijking, verschillende percentages (4, 7, 10 en 12%) cement, 20% geosta-E mix<sup>1</sup> en tenslotte een mengsel van 3% cement en 3% emulsie<sup>2</sup> (in dit rapport verder aangeduid met 3/3% EMC) gebruikt als bindmiddel. Het geosta werd gekozen vanwege vermeende sterk immobiliserende eigenschappen.

De conclusie uit het *civieltechnische* deel van het onderzoek is dat toepassing van tenminste 7% cement voldoende druksterkte geeft aan de uit het verontreinigde materiaal vervaardigde proefstukken.

De conclusies uit het *milieuhygiënische* deel van het onderzoek zijn dat:

1. zowel op basis van de organische samenstelling als het anorganisch uitlooggedrag van de met 7% cement en 12% cement uit het verontreinigde materiaal vervaardigde proefstukken hergebruik mogelijk is binnen categorie 1 van het (voorlopige) Bouwstoffenbesluit.

De met geosta en EMC vervaardigde proefstukken voldoen aan eisen voor categorie 2.

NB. de met EMC vervaardigde proefstukken bezitten, analoog aan alle bitumenachtige materialen een verhoogde samenstelling aan 'minerale olie'. Volgens [3] worden dit soort materialen echter niet op minerale olie samenstelling beoordeeld.

---

1. een mengsel, volgens opgave van de leverancier Kansai Engineering, bestaande uit 60% cement en 40% geosta-E en verder in dit rapport aangeduid met geosta.

2. Dit stabilisatiemiddel is in een later stadium aan het onderzoek toegevoegd. Onderzocht zijn de civieltechnische en milieuhygiënische eigenschappen van de gefabriceerde vormgegeven producten.

2. de *granulaten* (afvalstadium van de toepassing) uit de hiervoor genoemde stabilisaten met 7% cement en 12% cement nuttig toepasbaar zijn binnen het kader van categorie 2 van het (voorlopige) Bouwstoffenbesluit. Het granulaat met 20% geosta is niet toepasbaar.

De eindconclusie uit het laboratoriumonderzoek is dat ten behoeve van hergebruik van het verontreinigde funderingsmateriaal als nieuwe wegfundering stabilisatie met 7% cement civieltechnisch en milieuhygiënisch verantwoord is.

## 1. INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK

Bij een groot aantal wegen in Brabant en Limburg (met naar schatting een totale lengte van 400 km) is bij de aanleg of tijdens de levensduur mede gebruik gemaakt van puin, sintels, zinkslakken en teer. Veelal zijn dit soort funderingen aan het eind van de jaren '60 aangebracht.

Ook bij de reconstructie van het wegtracé Nederweert-Meijel werd verdacht materiaal in de fundering aangetroffen. Na bemonstering is door de wegbeheerder, Rijkswaterstaat dienstkring West-Limburg, mede door het ontbreken van formele regelgeving, besloten het verontreinigde materiaal te ontgraven, in depot te zetten en af te dekken.

Uitgebreider samenstellingsonderzoek [1] leerde dat, afgezet tegen de normen uit de toenmalige stoffenlijst van de Wca en de Indicatieve Richtwaarden van het Toetsingskader Leidraad Bodemsanering [2] ca. 40% van het materiaal, aangeduid als de fijne fractie met een korrel <0.4 cm, matig tot sterk verontreinigd was met arseen, koper, lood, zink, minerale olie en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

Waarschijnlijk is destijds bij de aanleg van het betreffende wegtracé gebruik gemaakt van kelderas, een residu dat vrijkwam bij het vroegere thermische zinkproductieproces.

Op initiatief van BV Aannemingsbedrijf NBM werd daarom een civieltechnisch en milieuhygiënisch laboratoriumonderzoek gestart naar de mogelijkheden om het in depot liggende materiaal te immobiliseren of te stabiliseren.

Het doel van het onderzoek was om op basis van de conclusies uit het civieltechnisch en milieuhygiënisch onderzoek een bijdrage te leveren aan een verantwoorde beslissing voor het hergebruik als wegfundering van het opgeslagen verontreinigde funderingsmateriaal in het depot.

Ten behoeve van de coördinatie van het onderzoek werd een werkgroep samengesteld, bestaande uit vertegenwoordigers van Kansai Engineering, RIVM en NBM. Voor het immobiliseren of stabiliseren werden, mede ter onderlinge vergelijking, verschillende percentages cement, geosta-E mix<sup>1</sup> en in een later stadium een mengsel van 3% cement en 3% emulsiebitumen (in dit rapport verder EMC genoemd) gebruikt als bindmiddel. Het geosta werd gekozen vanwege vermeende sterk immobiliserende eigenschappen.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het verrichte civieltechnische en milieuhygiënische onderzoek, zoals dat op laboratoriumschaal heeft plaatsgevonden.

---

1. een mengsel, volgens opgave van de leverancier Kansai Engineering, bestaande uit 60% cement en 40% geosta-E en verder in dit rapport aangeduid met geosta.

## **2. MONSTERNAME EN MONSTERVOORBEWERKING**

### **2.1 Monstername**

Op 16 januari 1992 werd het opslagdepot geopend en werd, in bijzijn van vertegenwoordigers van RIVM, NBM en Kansai Engineering, met een mobiele kraan een representatief<sup>1</sup> geachte hoeveelheid van circa 30 ton materiaal verzameld. Hierin waren duidelijk brokken asfalt, teer en sintels te herkennen. Opvallend was verder de aanwezigheid van grote keien (tot 15 cm doorsnede).

### **2.2 Monstervoorbewerking**

De totale hoeveelheid bemonsterd materiaal (30 ton) werd in een brekerinstallatie van de firma Bowie te Helmond verkleind tot een korrelgrootte van maximaal 20 mm. Vervolgens werd hieruit het basismonster van circa 6 ton samengesteld, dat verder bewerkt werd door de Materialen Bank Nederland (MBN). Het restant werd terug gebracht in het depot, dat tenslotte weer werd afgedekt.

De MBN produceerde door verdelen, malen (ook cryogeen), zeven e.d. een groot aantal, voor het oorspronkelijke materiaal representatieve, submonsters met korrelgroottes van maximaal 20 (aangeduid met 0/20), 4 (0/4) en 0,125 mm.

Een aantal van deze monsters werd, ter bepaling van de optimale receptuur voor toepassing van geosta, verzonden naar Kansai Engineering in Japan.

---

1. Het depot, met een oppervlak van ca. 300 m<sup>2</sup> en 2 m diepte, werd in 5 gelijke sectoren verdeeld. Per sector werd vervolgens een grote hoeveelheid materiaal omgezet waaruit tenslotte tot op het maaiveld ca. 3 m<sup>3</sup> materiaal verzameld.



### 3. CIVIELTECHNISCH VOORONDERZOEK

#### 3.1 Cement als bindmiddel

Het civieltechnisch vooronderzoek werd door NBM Zuid uitgevoerd zoals voor een zandcementstabilisatie, hetgeen inhoudt dat Proctorproeven worden uitgevoerd bij wisselend gehalte cement. Tevens werd bekeken of er verschil in gedrag optrad tussen het materiaal 0/4 zoals dat voor normaal laboratoriumonderzoek wordt gebruikt en het materiaal 0/20 dat in de praktijk wordt gebruikt.

#### 3.2 Geosta als bindmiddel

Bij Kansai Engineering werd het vooronderzoek met geosta als bindmiddel uitgevoerd. Naast het benodigde monstermateriaal werden alle relevante civieltechnische en milieuhygiënische proefomschrijvingen en normen aan Kansai ter beschikking gesteld om hen in staat te stellen de receptuur te optimaliseren. De resultaten van dit onderzoek, de aanbevolen samenstelling van 20% geosta en de juiste mengprocedure zijn in december 1992 door Kansai Engineering gerapporteerd [4].

#### 3.3 EMC als bindmiddel

Dit is niet bij het vooronderzoek betrokken geweest.

#### 3.4 Resultaten

In de tabellen 1 en 2 staan de resultaten van de druksterkte-ontwikkeling na 7 en 28 dagen uithardingstijd van de proefstukken die gemaakt zijn uit respectievelijk het 0/20 materiaal (kubussen) en het 0/4 materiaal (cylinders) met 4, 7 en 10% cement.

In tabel 2 wordt tevens de door Kansai Engineering bepaalde druksterkte na 7 dagen uitharden gegeven van het proefstuk (cylinder) uit het 0/4 materiaal met geosta.

TABEL 1

Druksterkte-ontwikkeling na 7 en 28 dagen uithardingstijd van de kubussen, gefabriceerd uit het 0/20 materiaal met 4, 7 en 10% cement.

	Dichtheid kg/m <sup>3</sup>	Druksterkte in N/mm <sup>2</sup>	
		Na 7 dagen	Na 28 dagen
4% cement	2265	2.1	2.8
7% cement	2287	4.3	6.0
10% cement	2246	7.1	10.2
3/3% EMC	nvt	nvt	nvt

Opmerking: de kubussen met ribbe 158 mm werden volgens standaardmethode voor BRAC vervaardigd bij het optimum vochtgehalte minus 2 %.

nvt = niet getest

TABEL 2

Druksterkte-ontwikkeling na 7 en 28 dagen uithardingstijd van de cylinders, gefabriceerd uit het 0/4 materiaal met 4, 7 en 10% cement, 20% geosta en 3/3% EMC.

	Dichtheid kg/m <sup>3</sup>	Druksterkte in N/mm <sup>2</sup>	
		Na 7 dagen	Na 28 dagen
4% cement	2013	3.3	3.8
7% cement	2007	4.6	5.9
10% cement	2007	8.6	9.3
20% geosta*	nb	2.4	nb
3/3% EMC	2063	1.8	2.5

Opmerking: cylinders volgens Proctor-proef, diameter 101 mm vervaardigd bij het optimum vochtgehalte minus 2 %.

\* = een "unconfined compressive strength", uitgevoerd door Kansai op cylinders met hoger vochtgehalte, diameter 5 cm en hoogte 10 cm.

nb = niet bepaald

### 3.4 Conclusies

1. Het materiaal 0/20 blijkt goed stabiliseerbaar [5] en levert bij een cementgehalte van 6,1% voldoende druksterkte (eis tenminste 5 N/mm<sup>2</sup>) voor toepassing als funderingslaag.

2. De door Kansai Engineering opgegeven druksterkte-ontwikkeling na 7 dagen van het 0/4 materiaal met geosta blijft achter bij die van het stabilisaat uit het 0/4 materiaal met 4% cement. De druksterkte-ontwikkeling na 28 dagen is door Kansai niet bepaald, maar zal naar alle waarschijnlijkheid ook lager uitvallen dan die met 4% cement. Aangezien de druksterkte na 28 dagen uitharden van het 0/4 materiaal met 4% cement "slechts" 3.8 N/mm<sup>2</sup> bedraagt en dus te laag is voor toepassing als funderingslaag, kan worden aangenomen dat dit ook geldt voor het bindmiddel geosta. Uit tabel 3 (zie hoofdstuk 4) blijkt dit inderdaad zo te zijn.

## **4. HET MILIEUHYGIENISCH ONDERZOEK**

### **4.1 Inleiding**

Het milieuhygiënisch onderzoek bestond uit het bepalen van de organische en anorganische samenstelling en het anorganische uitlooggedrag met behulp van de kolomtest, beschikbaarheidstest en standtest (alleen de vormgegeven producten) volgens respectievelijk NEN 7343, 7341 en 7345.

De keuze van de te onderzoeken parameters werd onder andere gebaseerd op de uitkomsten van een screening op de anorganische en organische samenstelling van het in depot opgeslagen materiaal (zie hoofdstuk 1.).

Besloten werd derhalve bij het milieuhygiënisch onderzoek vooral aandacht te besteden aan PAK's, minerale olie, arseen, koper, lood en zink. Hieraan werden toegevoegd natrium (voor het eventueel berekenen van de tortuositeit van het gestabiliseerde materiaal en de chemische retentie van de parameters), calcium (ter bepaling van het bufferend vermogen van het materiaal) en sulfaat als anion.

### **4.2 Vervaardigde proefstukken**

#### **4.2.1 Cement als bindmiddel**

Ten behoeve van het milieuhygiënisch onderzoek werden een groot aantal proefstukken aangemaakt uit het 0/4 materiaal volgens de Proctormethode met een tweetal gehalten cement, namelijk 7% refererend aan een standaard zandcement-stabilisatie, en 12% parallel aan het gehalte cement in geosta, te weten 60% van het totale bindmiddel.

#### **4.2.2 Geosta als bindmiddel**

Aanmaak van proefstukken met geosta als bindmiddel bleek niet volgens de standaard Proctorproef te kunnen worden uitgevoerd, doordat het mengsel te mortelachtig van consistentie (te vloeibaar) bleek. Om de vervaardiging volgens voorschrift van Kansai te laten verlopen werd het mengsel gestort in mallen met een diameter van 10 cm, waardoor de proefstukken dezelfde afmetingen kregen als de Proctorcilinders.

#### **4.2.3 EMC als bindmiddel**

De aanmaak van de proefstukken met 3/3% cement/emulsie vond plaats volgens de Proctormethode. Hierbij werd het materiaal eerst gemengd met cement (10 sec.), vervolgens werd water toegevoegd, waarna na 10 sec. mengen de emulsie werd toegevoegd en het mengsel gedurende 3 minuten werd gemengd.

#### **4.2.4 Druksterktes**

In tabel 3 staan de resultaten van de druksterkte-ontwikkeling na 7 en 28 dagen uithardingstijd van de proefstukken (cilinders) die uit het 0/4 materiaal gemaakt zijn met 7% cement, 12% cement en 20% geosta.

TABEL 3

Druksterkte-ontwikkeling na 7 en 28 dagen uithardingstijd van de cylinders, gefabriceerd uit het 0/4 materiaal met 7% cement, 12% cement, 20% geosta en 3/3% EMC.

	Druksterkte in N/mm <sup>2</sup>	
	Na 7 dagen	Na 28 dagen
7% cement	4.0	6.3
12% cement	5.6	8.3
20% geosta	0.95	2.7
3/3% EMC	1.9	2.5

Opmerking: cylinders volgens Proctor-proef, diameter 101 mm vervaardigd bij het optimum vochtgehalte minus 2 %.

#### 4.2.5 Uithardingstijd

Het milieuhygiënisch onderzoek vond plaats na minimaal 28 dagen uithardings-tijd van de proefstukken.

#### 4.3 De resultaten van het samenstellings- en uitloogonderzoek

Het samenstellings- en uitloogonderzoek aan het materiaal en de daaruit ge-maakte produkten met 7% cement, 12% cement, 20% geosta en 3/3% EMC werd uitge-voerd door Iwaco [6,7]. Beschreven zijn in de monstervoorbewerking, zoals het drogen en verkleinen ten behoeve van de samenstellingsanalyses en de analysemethodieken voor de verschillende parameters.

De kolomtesten, beschikbaarheidstesten en de standtesten werden volgens de respectieve NEN voorschriften 7343, 7341 en 7345 uitgevoerd.

De resultaten van de beschikbaarheidstesten van een aantal metalen en anionen staan in tabel 8, bijlage 1.

In de tabellen 9 tot en met 14, bijlagen 2 tot en met 7, staan voor ieder van de parameters, calcium, koper, lood, natrium, sulfaat en zink de totaalover-zichten van de resultaten van het samenstellingsonderzoek, kolomtesten, beschikbaarheidstesten en standtesten.

Tabel 15, bijlage 8 tenslotte toont de samenstellingsresultaten voor minerale olie en de 10 PAK's verbindingen van VROM.

#### 4.4 Interpretatie van de resultaten

##### 4.4.1 De samenstelling

Het materiaal en de hieruit met 7% cement, 12% cement, 20% geosta en 3/3% EMC vervaardigde stabilisaten zijn geanalyseerd op samenstelling voor calcium, koper, lood, natrium, sulfaat, zink, PAK's en minerale olie. Tabel 4 geeft het overzicht.

Het resultaat laat, wat de anorganische parameters betreft, zien dat de cal-ciumconcentraties, zoals verwacht, bij gebruik van cement toenemen.

TABEL 4

Samenstelling relevante anorganische parameters, minerale olie en PAK's

nvt = niet van toepassing	SAMENSTELLING IN mg/kg					BSB norm mg/kg
	materiaal	met 7% cement	met 12% cement	met 20% geosta	met 3/3% EMC	
calcium	3300	30000	45000	35000	22000	nvt
koper	230	160	210	190	210	nvt
lood	490	330	330	300	400	nvt
natrium	560	710	610	8000	670	nvt
sulfaat	4200	4000	7300	40000	2000	nvt
zink	1500	1100	1300	1100	1500	nvt
minerale olie	360	410	380	270	3800	500
anthraceen	1.4	1.8	1.9	1.5	1.4	10
benzo(a)anthraceen	6.1	6.1	5.9	5.0	5.9	50
benzo(k)fluorantheen	3.3	3.1	3.1	2.6	3.1	50
benzo(ghi)peryleen	6.9	6.5	6.0	5.2	5.2	50
benzo(a)pyreen	9.8	9.2	4.8	4.2	7.6	10
chryseen	6.5	6.0	5.6	5.1	4.4	10
fenanthreen	4.9	5.6	5.2	4.8	4.2	20
fluorantheen	11	12	10	8.8	11	35
indeno(1,2,3-c,d)pyreen	5.6	5.0	4.8	4.2	3.4	50
naftaleen	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	5
<i>Totaal 10 PAK's van VROM</i>	55	55	52	45	46	75

Opvallend zijn de hoge natrium- en sulfaatconcentraties bij het stabiliseren met geosta. Rekening houdende met de verdunning tengevolge van de toevoeging van cement en water blijken de verschillen in concentraties bij de zware metalen klein. Het stabiliseren met 7% cement geeft het beste resultaat wat de samenstelling betreft.

Wat de organische parameters betreft zijn de verschillen in concentraties aan PAK's voor de verschillende stabilisatiemethodieken eveneens gering.

Afgezet tegen de samenstellingsnormen voor PAK's uit het (voorlopige) Bouwstoffenbesluit blijken de gevonden respectieve concentraties in het materiaal en de stabilisaten geen belemmering te vormen voor nuttige toepassing.

De relatief hoge waarde aan minerale olie bij het gebruik van EMC is een gevolg van de aanwezigheid van bitumen in de emulsie, die bij de bepaling van het minerale oliegehalte ten dele wordt 'meegenomen'. Volgens [3] vindt er echter bij dit soort materialen geen beoordeling plaats op het gehalte aan minerale olie.

Dit betekent dat ook de minerale olie samenstelling geen beletsel vormt voor nuttige toepassing.

#### 4.4.2 Het uitloggedrag

##### 4.4.2.1 De beschikbaarheidstest

Uit de resultaten - zie tabel 5 - blijkt dat met name de beschikbaarheid van arseen dermate laag was dat het niet zinvol leek dit element bij de overige uitloogtesten verder te betrekken. De beschikbaarheid verbetert niet door het stabiliseren met cement. Van een chemische immobilisatie is dus geen sprake. Dit geldt ook voor de stabilisatie met geosta.

Opvallend is de hoge beschikbaarheid van natrium bij de stabilisatie met geosta.

De toename van sulfaat kan worden toegeschreven aan het gebruik van cement.

Tenslotte zij vermeld dat de beschikbaarheidstestresultaten van de materiaalstabilisaten worden gebruikt voor de berekening van het uitloggedrag met de standtest in 64 dagen.

TABEL 5

Beoordeling beschikbaarheidstestresultaten van de tot <0.125 mm verkleinde stabilisaten

nvt = niet van toepassing	beschikbaarheid in mg/kg					normen mg/kg (zie opmerking!)	
	materiaal	materiaal met 7% cement	grond met 12% cement	grond met 20% geosta	grond met 3/3% EMC	cat 1	cat 2
arsen	0.48	0.61	0.40	2.08	1.29	0.87	7
calcium	1310	27300	27200	42400	18700	nvt	nvt
koper	23	51	21	44	37.2	0.58	3.43
lood	9.2	54	18	40	23.9	1.57	8.53
natrium	144	140	177	11000	204	nvt	nvt
sulfaat	1160	3840	3560	5060	2540	740	30000
zink	396	433	150	521	346	3.28	14.44

Opmerking: deze normen gelden voor de toepasbaarheid van granulaten, die daartoe worden getest met de kolomtest tot L/S = 10. De emissies gemeten met de kolomtest zijn hooguit gelijk aan, maar vrijwel altijd lager dan die van de beschikbaarheidstest.

##### 4.4.2.2 De standtest

Met deze test werden de emissies in de eerste 64 dagen met behulp van de berekende diffusiecoëfficiënt bepaald van calcium, koper, lood, natrium, sulfaat en zink van de uit het materiaal met 7% cement, 12% cement, 20% geosta en 3/3% EMC vervaardigde stabilisaten. De resultaten staan vermeld in tabel 6. Tussen haakjes zijn de experimentele emissies vermeld in geval de emissies, door een te lage concentratie/detectielimiet verhouding, niet berekend konden worden (aangegeven met #). Dit geldt met name voor lood en zink bij alle stabilisaten en voor koper bij het stabilisaat met geosta.

Voor de beoordeling zijn als referentie de normen voor vormgegeven producten uit het Bouwstoffenbesluit versie 5-7-1993 gebruikt.

Uit tabel 6 blijken, met betrekking tot de relevante parameters - koper, lood, sulfaat en zink - alleen de stabilisaten met 7% cement, 12% cement te voldoen aan de categorie 1 norm. De overige stabilisaten met geosta en EMC voldoen voor wat de koperuitloging niet aan de categorie 1 norm, maar wel aan de categorie 2 norm.

TABEL 6  
Beoordeling standtestresultaten van de stabilisaten

# = niet te berekenen ( ) = experimentele emissie in 64 dagen	berekende standtestemissie in 64 dagen in mg/m <sup>2</sup>				normen mg/m <sup>2</sup>	
	materiaal met 7% cement	materiaal met 12% cement	materiaal met 20% geosta	materiaal met 3/3% EMC	cat 1	cat 2
calcium	#(20800)	#(19000)	#(5200)	29000(20500)	nvt	nvt
koper	23(23)	15(15)	#(89)	64(64)	51	170
lood	#(<9.27)	#(<6.89)	#(<6.1)	#(<2.5)	120	400
natrium	4500(4300)	8400(6700)	213000(191000)	#(3310)	nvt	nvt
sulfaat	4400(4600)	3700(3800)	12600(10700)	4400(2900)	27000	80000
zink	#(<140)	#(<138)	#(<122)	7(5)	200	670

#### 4.4.2.3 De kolomtest

Deze test werd toegepast om een indruk te krijgen over het uitlooggedrag van het afvalstadium na eventueel hergebruik.

Bestudeerd werden de parameters calcium, koper, lood, natrium, sulfaat en zink, zowel van het materiaal zelf als de hieruit, tot <4 mm verkleinde, vervaardigde stabilisaten met 7% cement, 12% cement en 20% geosta<sup>1</sup>.

De resultaten uit de bijlagen staan samengevat in tabel 7.

Voor de beoordeling van dit uitlooggedrag zijn als referentie de categorie 1 en 2 normen voor granulaten (hoogte = 1 meter) uit het (voorlopige) Bouwstoffenbesluit, versie 5-7-1993 (Besl.11.RVS) gebruikt.

TABEL 7  
Beoordeling kolomtestresultaten van de tot <4 mm verkleinde stabilisaten

nvt = niet van toepassing	kolomtestemissies tot L/S = 10 in mg/kg				normen in mg/kg	
	materiaal	materiaal met 7% cement	materiaal met 12% cement	materiaal met 20% geosta	cat 1	cat 2
calcium	544	3710	5710	2800	nvt	nvt
koper	0.65	1.25	2.76	10.3	0.58	3.43
lood	0.6	1.48	1.57	1.05	1.57	8.53
natrium	132	158	198	9030	nvt	nvt
sulfaat	1140	60	66	1370	740	30000
zink	4	<1	<1	<1.27	3.28	14.44

Uit tabel 7 blijkt, met betrekking tot de relevante parameters - koper, lood, sulfaat en zink - het materiaal, wegens de overschrijding door koper, sulfaat en zink, niet aan de categorie 1 norm te voldoen. Wel wordt voldaan aan de categorie 2 norm.

De granulaten met 7% en 12% cement blijken, wegens de overschrijding door koper, niet aan de categorie 1 norm te voldoen. Beide voldoen wel aan de categorie 2 norm. Het granulaat uit het met 20% geosta gestabiliseerde materiaal voldoet, wegens de overschrijding door koper, niet aan de categorie 2 norm.

Het granulaat met 7% cement geeft een betere (lagere) uitloging dan het granulaat met 12% cement.

1. De kolomtest is niet uitgevoerd aan het met emulcement gestabiliseerde materiaal.

#### 4.5 Conclusies

1. De *vormgegeven* stabilisaten, gefabriceerd uit het verontreinigde funderingsmateriaal met 7% cement, 12% cement, zijn zowel op basis van organische samenstelling als anorganisch uitlooggedrag nuttig toepasbaar binnen het kader van categorie 1 van het (voorlopige) Bouwstoffenbesluit.

Het met geosta en EMC gestabiliserde fundatiemateriaal voldoet aan de categorie 2 norm.

2. De *granulaten* uit de hiervoor genoemde stabilisaten met 7% cement en 12% cement zijn toepasbaar binnen het kader van categorie 2 van het (voorlopige) Bouwstoffenbesluit. Het granulaat met 20% geosta is niet toepasbaar.



## 5. EINDCONCLUSIE

De conclusie uit het civieltechnische deel van het onderzoek was dat binding van het verontreinigde funderingsmateriaal met tenminste 7% cement leidt tot een nieuwe funderingsmateriaal met aanvaardbare druksterkte. De produkten gemaakt door binding van het materiaal met geosta en EMC bleven qua druksterkte duidelijk achter en zullen dus niet toegepast kunnen worden.

De conclusie uit het milieuhygiënische deel van het onderzoek was dat de vormgegeven stabilisaten, verkregen uit binding van het materiaal met 7% cement, 12% cement, 20% geosta en 3/3% EMC alle blijken te voldoen aan de eisen van het (voorlopige) Bouwstoffenbesluit; de uitsluitend met cement gestabiliserde aan de categorie 1 norm en de met geosta en EMC aan de categorie 2 norm.

Voor de uit de vormgegeven stabilisaten gemaakte granulaten (afvalstadium van het hergebruik) geldt dit alleen voor die, welke gemaakt zijn met 7 en 12% cement.

De eindconclusie uit het laboratoriumonderzoek is dat ten behoeve van hergebruik van het verontreinigde funderingsmateriaal als nieuwe wegfundering stabilisatie met 7% cement civieltechnisch en milieuhygiënisch verantwoord en de beste keus lijkt.

**6. LITERATUUROVERZICHT**

1. Verkennend onderzoek gronddepot RWS te Nederweert; Oranjewoud B.V. rapport, projectnr. 7967-45777 (december 1990).
2. Leidraad Bodemsanering, Toetsingskader voor concentraties van diverse verontreinigingen in grond en grondwater; Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne (november 1988).
3. Aalbers, Th.G. et. al.; Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem- en oppervlaktewaterenbescherming; RIVM/RIZA-rapport no. 771402006/93.042 (december 1993).
4. Geosta-E treatment for polluted soil "zinc soil"; Kansai Engineering inc. rapportnr. 153 (december 1992).
5. Druksterkte onderzoek ZIP; Aannemingsbedrijf NBM regio Zuid, rapportnr. Z.92.023
6. Uitloogonderzoek ZIP; Iwaco rapport nr. 1037240.002 (mei 1993).
7. Uitloogonderzoek ZIP; analysecertificaten nrs. 945623 en 945622 (juli en september 1994).

**INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN**

Bijlage 1: Tabel 8, uitloogbeschikbaarheid van elementen	14
Bijlage 2: Tabel 9, samenstellings- en uitlooggegevens van calcium	15
Bijlage 3: Tabel 10, samenstellings- en uitlooggegevens van koper	16
Bijlage 4: Tabel 11, samenstellings- en uitlooggegevens van lood	17
Bijlage 5: Tabel 12, samenstellings- en uitlooggegevens van natrium	18
Bijlage 6: Tabel 13, samenstellings- en uitlooggegevens van sulfaat	19
Bijlage 7: Tabel 14, samenstellings- en uitlooggegevens van zink	20
Bijlage 8: Tabel 15, samenstelling minerale olie en PAK's	21

TABEL 8: UITLOOGBESCHIKBAARHEID VAN ELEMENTEN

ELEMENT	BESCHIKBAARHEID IN mg/kg				
	grond	met 7% cement	met 12% cement	met 20% geosta	met 3/3% EMC
antimoon	1.27	2.39	2.05	2.08	0.52
arseen	0.48	0.61	0.40	0.27	1.29
barium	34	44	31	37	52.4
cadmium	1.15	1.12	0.39	1.11	1.19
calcium	1310	27300	27200	42400	18700
chrom	<0.2	2.70	3.29	0.81	1.04
cobalt	0.58	1.16	0.45	1.29	4.34
koper	23	51	21	44	37.2
kwik	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.011
lood	9.2	54	18	40	23.9
molybdeen	<0.2	0.52	0.50	0.48	0.41
vanadium	<0.5	3.92	3.11	<0.51	2.04
natrium	144	140	177	11000	204
nikkel	1.75	7.23	3.24	3.33	2.11
seleen	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.217
zink	396	433	150	521	346
bromide	<10	<5.4	<5.0	<5.1	10.9
chloride	103	82	51	73	105
cyanide-totaal	<0.1	7.7	7.3	6.8	0.22
cyanide-vrij	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.11
sulfaat	1160	3840	3560	5060	2540
thiocyanaat als CN	<0.1	0.3	0.2	1.45	-

TABEL 9: SAMENSTELLINGS-EN UITLOOGGEGEVENS VAN CALCIUM

<i>Concentraties in µg/l</i> <i>L/S in l/kg</i> <i>NR = niet relevant</i> <i># = niet bepaalbaar</i>	grond	grond met 7% cement	grond met 12% cement	grond met 20% geosta	grond met 3/3% EMC
SAMENSTELLING in mg/kg	3300	30000	45000	35000	22000
KOLOMTEST					
A. MEETGEGEVENS					
Concentraties in fracties:	740000	560000	470000	66000	
L/S = 0-0.1	570000	620000	580000	61000	
L/S = 0.1-0.5	120000	640000	690000	69000	
L/S = 0.5-1	37000	630000	700000	220000	
L/S = 1-2	17000	520000	690000	310000	
L/S = 2-3	20000	400000	670000	350000	
L/S = 3-5	17000	230000	470000	300000	
L/S = 5-10	7.5-8.1	12.2-11.8	12.4-12.1	13.0-11.8	
pH-verloop	4100-94	7100-2420	9630-5180	47000-2870	
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm					
B. Resultaat					
mg/kg emissie tot L/S = 1	544	3710	5710	2800	
mg/kg emissie tot L/S = 10					
BESCHIKBAARHEIDSTEST					
A. Meetgegevens					
Concentraties bij					
pH = 7					
pH = 4					
B. RESULTAAT	1310	27300	27200	42400	18700
mg/kg emissie tot L/S = 100	NR				
DIFFUSIETEST					
A. MEETGEGEVENS					
Massa in kg		2.1	2	1.3	1.9
Oppervlak in m <sup>2</sup>		0.053	0.051	0.04	0.054
Produktvolume in dm <sup>3</sup>		0.93	0.88	0.6	0.96
Uitloogvloeistof in dm <sup>3</sup>		9.3	8.8	6	3.36
V <sub>vloeistoof</sub> /V <sub>produkt</sub>		10	10	10	3.5
Concentraties in fracties		9000	9400	2600	9900
1. na t = 0.25 dag		14000	17000	3800	20000
2. na t = 1		18000	18000	9600	57000
3. na t = 2.25		18000	20000	8200	37000
4. na t = 4		23000	19000	4500	25000
5. na t = 9		18000	14000	2000	68000
6. na t = 16		10000	7100	1500	67000
7. na t = 32		8800	5000	1900	46000
8. na t = 64		100	100	100	100
detectiegrens		10.4-9.2	10.5-9.4	11-9.1	10.3-11.4
pH-verloop		69-100	98-108	557-896	291-809
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm					
B. UITWERKING		2258	2273	2167	1980
Volumegewicht in kg/m <sup>3</sup>		150	100	43	412
Conc. gemiddeld/det.grens					
grafiek: logE <sub>ber</sub> vs. logt:					
regressie + (standaard-					
afwijking van trajecten)		0.07	-0.08	-0.27	0.35(0.2)
* 2-7		0.80	0.79	1.04	NR
* 1-3		0.12	-0.04	-0.72	NR
* 3-6		-0.49	-0.67	-0.38	NR
* 5-8					
Eff. diffusiecoëfficiënt:		#	#	#	13.16
pD <sub>e,2-7</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		#	#	#	NR
pD <sub>e,1-3</sub>		#	#	#	NR
pD <sub>e,3-6</sub>		#	#	#	NR
pD <sub>e,5-8</sub>		#	#	#	NR
C. RESULTAAT					
pD <sub>e</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		#	#	#	13.16
mg/m <sup>2</sup> emissie tot 64 dagen					
1. experimenteel		20800	19000	5190	20527
2. berekend met pD <sub>e</sub>		#	#	#	29113

TABEL 10: SAMENSTELLINGS-EN UITLOOGGEGEVENS VAN KOPER

Concentraties in $\mu\text{g/l}$ L/S in l/kg NR = niet relevant # = niet bepaalbaar	grond	grond met 7% cement	grond met 12% cement	grond met 20% geosta	grond met 3/3% EMC
<b>SAMENSTELLING in mg/kg</b>	230	160	210	190	210
<b>KOLOMTEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>					
Concentraties in fracties:					
L/S = 0-0.1	23	43	69	34000	
L/S = 0.1-0.5	51	25	25	12000	
L/S = 0.5-1	160	10	730	2200	
L/S = 1-2	17	2.2	440	200	
L/S = 2-3	44	2.3	280	140	
L/S = 3-5	44	<2	240	61	
L/S = 5-10	82	240	230	49	
pH-verloop	7.5-8.1	12.2-11.8	12.4-12.1	13.0-11.8	
K <sub>20</sub> -verloop in $\mu\text{S/cm}$	4100-94	7100-2420	9630-5180	47000-2870	
<b>B. Resultaat</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 1					
mg/kg emissie tot L/S = 10	0.65	1.25	2.76	10.3	
<b>BESCHIKBAARHEIDSTEST</b>					
<b>A. Meetgegevens</b>					
Concentraties bij					
pH = 7					
pH = 4					
<b>B. RESULTAAT</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 100	22.9	51.1	21.2	43.8	37.2
<b>DIFFUSIETEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>	NR				
Massa in kg		2.1	2	1.3	1.9
Oppervlak in m <sup>2</sup>		0.053	0.051	0.04	0.054
Produktvolume in dm <sup>3</sup>		0.93	0.88	0.6	0.96
Uitloogvloeistof in dm <sup>3</sup>		9.3	8.8	6	3.36
$V_{\text{vloeistof}}/V_{\text{produkt}}$		10	10	10	3.5
Concentraties in fracties					
1. na t = 0.25 dag		7.8	5.7	55	38
2. na t = 1		4.9	4.8	22	67
3. na t = 2.25		6.8	4.3	37	60
4. na t = 4		8	5	40	76
5. na t = 9		17	10	110	120
6. na t = 16		21	15	99	150
7. na t = 32		36	19	130	310
8. na t = 64		31	20	100	200
detectiegrens		2	2	2	2
pH-verloop		10.4-9.2	10.5-9.4	11.0-9.1	10.3-11.4
K <sub>20</sub> -verloop in $\mu\text{S/cm}$		69-100	98-108	557-896	291-891
<b>B. UITWERKING</b>					
Volumegewicht in kg/m <sup>3</sup>		2258	2273	2167	1980
Conc. <sub>gemiddeld</sub> /det.grens		8.4	5.3	37	128
grafiek: $\log E_{\text{ber}}$ vs. $\log t$ : regressie + (standaard- afwijking van trajecten)					
* 2-7		0.72	0.60 (0.1)	0.68	0.54(0.04)
* 1-3		0.41 (0.2)	NR	0.27	NR
* 3-6		0.70	NR	0.68	NR
* 5-8		0.38 (0.2)	NR	0.03	NR
Eff. diffusiecoëfficiënt:					
pD <sub>e,2-7</sub> in $-\log\text{m}^2/\text{s}$		#	13.89	#	12.91
pD <sub>e,1-3</sub>		14.47	NR	#	NR
pD <sub>e,3-6</sub>		#	NR	#	NR
pD <sub>e,5-8</sub>		14.17	NR	#	NR
<b>C. RESULTAAT</b>					
pD <sub>e</sub> in $-\log\text{m}^2/\text{s}$		14.17	13.89	#	12.91
mg/m <sup>2</sup> emissie tot 64 dagen					
1. experimenteel		23	14	89	64
2. berekend met pD <sub>e</sub>		23	15	#	64

TABEL 11: SAMENSTELLINGS- EN UITLOOGGEGEVENS VAN LOOD

Concentraties in $\mu\text{g/l}$ L/S in l/kg NR = niet relevant # = niet bepaalbaar	grond	grond met 7% cement	grond met 12% cement	grond met 20% geosta	grond met 3/3% EMC
<b>SAMENSTELLING in mg/kg</b>	490	330	330	300	400
<b>KOLOMTEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>					
Concentraties in fracties:					
L/S = 0-0.1	9.1	2100	320	3000	
L/S = 0.1-0.5	<5	72	67	440	
L/S = 0.5-1	6.9	85	110	150	
L/S = 1-2	71	360	290	54	
L/S = 2-3	35	360	160	97	
L/S = 3-5	9.9	160	160	55	
L/S = 5-10	93	39	140	42	
pH-verloop	7.5-8.1	12.2-11.8	12.4-12.1	13.0-11.8	
$K_{20}$ -verloop in $\mu\text{S/cm}$	4100-94	7100-2420	9630-5180	47000-2870	
<b>B. Resultaat</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 1 mg/kg emissie tot L/S = 10	0.6	1.48	1.57	1.05	
<b>BESCHIKBAARHEIDSTEST</b>					
<b>A. Meetgegevens</b>					
Concentraties bij					
pH = 7					
pH = 4					
<b>B. RESULTAAT</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 100	9.17	54.2	18	40.2	23.9
<b>DIFFUSIETEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>	NR				
Massa in kg		2.1	2	1.3	1.9
Oppervlak in $\text{m}^2$		0.053	0.051	0.04	0.054
Produktvolume in $\text{dm}^3$		0.93	0.88	0.6	0.96
Uitloogvloeistof in $\text{dm}^3$		9.3	8.8	6	3.36
$V_{\text{vloeistof}}/V_{\text{produkt}}$		10	10	10	3.5
Concentraties in fracties					
1. na t = 0.25 dag		<5	<5	<5	<5
2. na t = 1		18	<5	<5	<5
3. na t = 2.25		<5	<5	<5	<5
4. na t = 4		<5	<5	<5	<5
5. na t = 9		<5	<5	<5	<5
6. na t = 16		<5	<5	<5	<5
7. na t = 32		<5	<5	<5	<5
8. na t = 64		<5	<5	<5	<5
detectiegrens		5	5	5	5
pH-verloop		10.4-9.2	10.5-9.4	11-9.1	10.3-11.4
$K_{20}$ -verloop in $\mu\text{S/cm}$		69-100	98-108	557-896	291-809
<b>B. UITWERKING</b>					
Volumegewicht in $\text{kg/m}^3$		2258	2273	2167	1980
Conc. <sub>gemiddeld</sub> /det.grens		<1.3	<1	<1	<1
grafiek: $\log E_{\text{per}}$ vs. $\log t$ : regressie + (standaard- afwijking van trajecten)					
* 2-7		#	#	#	#
* 1-3		#	#	#	#
* 3-6		#	#	#	#
* 5-8		#	#	#	#
Eff. diffusiecoëfficiënt:					
$pD_{c,2-7}$ in $-\log\text{m}^2/\text{s}$		#	#	#	#
$pD_{c,1-3}$		#	#	#	#
$pD_{c,3-6}$		#	#	#	#
$pD_{c,5-8}$		#	#	#	#
<b>C. RESULTAAT</b>					
$pD_c$ in $-\log\text{m}^2/\text{s}$		#	#	#	#
mg/m <sup>2</sup> emissie tot 64 dagen 1. experimenteel		3.13-9.27	<6.89	<6.1	<2.5
2. berekend met $pD_c$		#	#	#	#

TABEL 12: SAMENSTELLINGS- EN UITLOOGGEGEVENS VAN NATRIUM

<i>Concentraties in µg/l L/S in l/kg NR = niet relevant # = niet bepaalbaar</i>	grond	grond met 7% cement	grond met 12% cement	grond met 20% geosta	grond met 3/3% EMC
<b>SAMENSTELLING in mg/kg</b>	560	710	610	8000	670
<b>KOLOMTEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>					
Concentraties in fracties:					
L/S = 0-0.1	610000	340000	530000	2100000	
L/S = 0.1-0.5	91000	100000	210000	9900000	
L/S = 0.5-1	6300	31000	26000	3000000	
L/S = 1-2	3400	17000	9700	710000	
L/S = 2-3	2100	8300	7500	150000	
L/S = 3-5	1600	5600	5300	86000	
L/S = 5-10	4500	3900	3700	44000	
pH-verloop	7.5-8.1	12.2-11.8	12.4-12.1	13.0-11.8	
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm	4100-94	7100-2420	9630-5180	47000-2870	
<b>B. Resultaat</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 1					
mg/kg emissie tot L/S = 10	132	158	198	9030	
<b>BESCHIKBAARHEIDSTEST</b>					
<b>A. Meetgegevens</b>					
Concentraties bij					
pH = 7					
pH = 4					
<b>B. RESULTAAT</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 100	144	140	177	11000	204
<b>DIFFUSIETEST</b>	NR				
<b>A. MEETGEGEVENS</b>					
Massa in kg		2.1	2	1.3	1.9
Oppervlak in m <sup>2</sup>		0.053	0.051	0.04	0.054
Produktvolume in dm <sup>3</sup>		0.93	0.88	0.6	0.96
Uitloogvloeistof in dm <sup>3</sup>		9.3	8.8	6	3.36
$V_{\text{vloeistof}}/V_{\text{produkt}}$		10	10	10	3.5
Concentraties in fracties					
1. na t = 0.25 dag		2400	4400	90000	3300
2. na t = 1		1100	2800	57000	5900
3. na t = 2.25		1300	2400	92000	5300
4. na t = 4		1600	5000	95000	5300
5. na t = 9		3400	3800	240000	7500
6. na t = 16		2500	3800	210000	7000
7. na t = 32		5700	8000	280000	11000
8. na t = 64		6600	8500	210000	7900
detectiegrens		200	200	200	500
pH-verloop		10.4-9.2	10.5-9.4	11-9.1	10.3-11.4
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm		69-100	98-108	557-896	291-809
<b>B. UITWERKING</b>					
Volumegewicht in kg/m <sup>3</sup>		2258	2273	2167	1980
Conc. <sub>gemiddeld</sub> /det.grens		15	24	796	13
grafiek: logE <sub>ber</sub> vs. logt: regressie + (standaard- afwijking van trajecten)					
* 2-7		0.59 (.06)	0.39 (.13)	0.60 (.10)	0.28
* 1-3		NR	NR	NR	0.74
* 3-6		NR	NR	NR	0.26
* 5-8		NR	NR	NR	0.18
Eff. diffusiecoëfficiënt:					
pD <sub>e,2-7</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		10.65	10.36	10.94	#
pD <sub>e,1-3</sub>		NR	NR	NR	#
pD <sub>e,3-6</sub>		NR	NR	NR	#
pD <sub>e,5-8</sub>		NR	NR	NR	#
<b>C. RESULTAAT</b>					
pD <sub>e</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		10.65	10.36	10.94	#
mg/m <sup>2</sup> emissie tot 64 dagen 1. experimenteel		4317	6678	191000	3310
2. berekend met pD <sub>e</sub>		4492	8390	213000	#



TABEL 13: SAMENSTELLINGS- EN UITLOOGGEGEVENS VAN SULFAAT

<i>Concentraties in µg/l</i> <i>L/S in l/kg</i> <i>NR = niet relevant</i> <i># = niet bepaalbaar</i>	grond	grond met 7% cement	grond met 12% ce- ment	grond met 20% geosta	grond met 3/3% EMC
<b>SAMENSTELLING in mg/kg</b>	4200	4000	7300	40000	2000
<b>KOLOMTEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>					
Concentraties in fracties:					
L/S = 0-0.1	2400000	16000	31000	4700000	
L/S = 0.1-0.5	1700000	9900	8000	1400000	
L/S = 0.5-1	260000	6300	5500	480000	
L/S = 1-2	25000	6200	<1000	32000	
L/S = 2-3	14000	7600	3000	4900	
L/S = 3-5	7900	13000	3900	3000	
L/S = 5-10	4200	2100	9000	<1000	
pH-verloop	7.5-8.1	12.2-11.8	12.4-12.1	13.0-11.8	
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm	4100-94	7100-2420	9630-5180	47000-2870	
<b>B. Resultaat</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 1					
mg/kg emissie tot L/S = 10	1140	60	66	1370	
<b>BESCHIKBAARHEIDSTEST</b>					
<b>A. Meetgegevens</b>					
Concentraties bij					
pH = 7					
pH = 4					
<b>B. RESULTAAT</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 100	1160	3840	3560	5060	2540
<b>DIFFUSIETEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>	NR				
Massa in kg		2.1	2	1.3	1.9
Oppervlak in m <sup>2</sup>		0.053	0.051	0.04	0.054
Productvolume in dm <sup>3</sup>		0.93	0.88	0.6	0.96
Uitloogvloeistof in dm <sup>3</sup>		9.3	8.8	6	3.36
$V_{\text{vloeistof}}/V_{\text{produkt}}$		10	10	10	3.5
Concentraties in fracties					
1. na t = 0.25 dag		1100	1500	7800	6000
2. na t = 1		1100	1400	3300	7300
3. na t = 2.25		1600	1300	5200	5300
4. na t = 4		1700	1300	5000	4400
5. na t = 9		3300	2200	13000	5200
6. na t = 16		3700	1400	11000	5000
7. na t = 32		5800	7100	14000	5500
8. na t = 64		7900	5000	12000	8400
detectiegrens		100	100	100	100
pH-verloop		10.4-9.2	10.5-9.4	11-9.1	10.3-11.4
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm		69-100	98-108	557-896	291-809
<b>B. UITWERKING</b>					
Volumegewicht in kg/m <sup>3</sup>		2258	2273	2167	1980
Conc. <sub>gemiddeld</sub> /det.grens		33	27	89	59
<i>grafiek: logE<sub>ber</sub> vs. logt:</i> regressie + (standaard- afwijking van trajecten)					
* 2-7		0.60	0.46 (.04)	0.58 (.08)	0.046
* 1-3		NR	NR	NR	0.46(0.14)
* 3-6		NR	NR	NR	0.08
* 5-8		NR	NR	NR	0.30
Eff. diffusiecoëfficiënt:					
pD <sub>e,2-7</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		13.43	12.60	12.80	#
pD <sub>e,1-3</sub>		NR	NR	NR	13.16
pD <sub>e,3-6</sub>		NR	NR	NR	#
pD <sub>e,5-8</sub>		NR	NR	NR	#
<b>C. RESULTAAT</b>					
pD <sub>e</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		13.43	13.60	12.80	13.16
mg/m <sup>2</sup> emissie tot 64 dagen 1.					
experimenteel		4597	3796	10695	2931
2. berekend met pD <sub>e</sub>		4422	3714	12570	4397

TABEL 14: SAMENSTELLINGS- EN UITLOOGGEGEVENS VAN ZINK

<i>Concentraties in µg/l L/S in l/kg NR = niet relevant # = niet bepaalbaar</i>	grond	grond met 7% cement	grond met 12% cement	grond met 20% geosta	grond met 3/3% EMC
<b>SAMENSTELLING in mg/kg</b>	1500	1100	1300	1100	1500
<b>KOLOMTEST</b>					
<b>A. MEETGEGEVENS</b>					
Concentraties in fracties:					
L/S = 0-0.1	950	<100	<100	790	
L/S = 0.1-0.5	730	<100	<100	300	
L/S = 0.5-1	330	<100	<100	<100	
L/S = 1-2	<100	<100	<100	<100	
L/S = 2-3	1200	<100	<100	210	
L/S = 3-5	<100	<100	<100	<100	
L/S = 5-10	450	<100	<100	<100	
pH-verloop	7.5-8.1	12.2-11.8	12.4-12.1	13.0-11.8	
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm	4100-94	7100-2420	9630-5180	47000-2870	
<b>B. Resultaat</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 1					
mg/kg emissie tot L/S = 10	3.94-4.25	<1.00	<1.00	0.41-1.27	
<b>BESCHIKBAARHEIDSTEST</b>					
<b>A. Meetgegevens</b>					
Concentraties bij					
pH = 7					
pH = 4					
<b>B. RESULTAAT</b>					
mg/kg emissie tot L/S = 100	396	433	150	521	346
<b>DIFFUSIETEST</b>	NR				
<b>A. MEETGEGEVENS</b>					
Massa in kg		2.1	2	1.3	1.9
Oppervlak in m <sup>2</sup>		0.053	0.051	0.04	0.054
Produktvolume in dm <sup>3</sup>		0.93	0.88	0.6	0.96
Uitloogvloeistof in dm <sup>3</sup>		9.3	8.8	6	3.36
$V_{\text{vloeistof}}/V_{\text{produkt}}$		10	10	10	3.5
Concentraties in fracties					
1. na t = 0.25 dag		<100	<100	<100	10
2. na t = 1		<100	<100	<100	5
3. na t = 2.25		<100	<100	<100	5.3
4. na t = 4		<100	<100	<100	6
5. na t = 9		<100	<100	<100	32
6. na t = 16		<100	<100	<100	9.6
7. na t = 32		<100	<100	<100	5
8. na t = 64		<100	<100	<100	5
detectiegrens		100	100	100	5
pH-verloop		10.4-9.2	10.5-9.4	11-9.1	10.3-11.4
K <sub>20</sub> -verloop in µS/cm		69-100	98-108	557-896	291-809
<b>B. UITWERKING</b>					
Volumegewicht in kg/m <sup>3</sup>		2258	2273	2167	1980
Conc. <sub>gemiddeld</sub> /det.grens		<1	<1	<1	2
grafiek: logE <sub>ber</sub> vs. logt: regressie + (standaard- afwijking van trajecten)					
* 2-7		#	#	#	0.25
* 1-3		#	#	#	0.19
* 3-6		#	#	#	0.63(0.44)
* 5-8		#	#	#	-0.85
Eff. diffusiecoëfficiënt:					
pD <sub>c,2-7</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		#	#	#	#
pD <sub>c,1-3</sub>		#	#	#	#
pD <sub>c,3-6</sub>		#	#	#	16.82
pD <sub>c,5-8</sub>		#	#	#	#
<b>C. RESULTAAT</b>					
pD <sub>c</sub> in -logm <sup>2</sup> /s		#	#	#	16.82
mg/m <sup>2</sup> emissie tot 64 dagen					
1. experimenteel		<140	<138	<122	4.8
2. berekend met pD <sub>c</sub>		#	#	#	7

TABEL 15: SAMENSTELLING MINERALE OLIE EN PAK's

VERBINDING	SAMENSTELLING IN mg/kg				
	grond	met 7% cement	met 12% cement	met 20% geosta	met 3/3% EMC
minerale olie	360	410	380	270	3800
anthraceen	1.4	1.8	1.9	1.5	1.4
benzo(a)anthraceen	6.1	6.1	5.9	5.0	5.9
benzo(k)fluorantheen	3.3	3.1	3.1	2.6	3.1
benzo(ghi)peryleen	6.9	6.5	6.0	5.2	5.2
benzo(a)pyreen	9.8	9.2	4.8	4.2	7.6
chryseen	6.5	6.0	5.6	5.1	4.4
fenanthreen	4.9	5.6	5.2	4.8	4.2
fluorantheen	11	12	10	8.8	11
indeno(1,2,3-c,d)pyreen	5.6	5.0	4.8	4.2	3.4
naftaleen	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2
<i>Totaal 10 PAK's van VROM</i>	55	55	52	45	46