INTRON

ADSORPTIE VAN ZINK AAN KUNSTGRASONDERLAGEN

hoelang blijft het zink uit het rubber infill in het kunstgrasveldsysteem?

rapport

Opdrachtgever / Client

RecyBEM B.V.
t.a.v. de heer drs. C. van Oostenrijk
Postbus 418
2260 AK LEIDSCHENDAM

Vereniging VACO
t.a.v. de heer A.J. Verhoef
postbus 33
2300 AA LEIDEN

Ons kenmerk / Our reference A845090/R20090029/UHo/NBe

Autorisatie / Authorisation ir. R. van Selst

Datum / Date 31 maart 2009

Auteur / Author dr. U. Hofstra

INHOUDSOPGAVE

Pagina

SAMENVATTING 3

1. INLEIDING 5

2. WERKWIJZE 7
   2.1. Karakteristieken drainagezanden 7
   2.2. Vooronderzoek schudproeven 8
      2.2.1. Opzet 8
      2.2.2. Contacttijd 8
      2.2.3. Concentratie zink 9
      2.2.4. Zuurgraad pH 9
   2.3. Definitieve schudproeven bij constante pH 10
   2.4. Kolomproef 11

3. RESULTATEN ADSORPTIEPROEVEN 12
   3.1. Schudproeven bij constante pH 12
   3.2. Resultaten kolomproeven 12
      3.2.1. Zinkconcentraties in het eluaat 12
      3.2.2. Zinkgehalte in zandprofiel 13

4. RISICOBEOORDELING VOOR HET KUNSTGRASSYSTEEM 15
   4.1. Vergelijking met literatuurwaarden 15
   4.2. Berekening van de doorslagtijd van de onderlagen 15
   4.3. Effect van pH 17
   4.4. Gehalte zink in de onderlagen na de gebruiksperiode 17

5. CONCLUSIES 19

BIJLAGE 22

SAMENVATTING

In vorig onderzoek[1] is vastgesteld, dat er geen sprake is van een milieurisico ten gevolge van de uitloging van zink bij de toepassing van rubbergranulaat van gemalen autobanden op een kunstgrasveld, indien rekeninggehouden wordt met de adsorptie van zink aan de onderlagen in het kunstgrassysteem. Bij de berekeningen is toen gebruik gemaakt van literatuurwaarden voor de adsorptie van zink aan zand. Er is in de risicobeoordeling voor de uitloging van zink toen gerekend met een adsorptiecoëfficiënt Kd 50 L/kg.

In de markt rees vervolgens bij enkele partijen twijfel over de juistheid van deze berekeningen. Om deze reden is dit vervolgonderzoek gedaan naar de adsorptie van zink aan zand en lava waar de onderlagen gewoonlijk uit bestaan.

Het doel van dit onderzoek is om de onzekerheid weg te nemen over de adsorptiecapaciteit van zink aan de onderlagen van zand en lava onder een kunstgrasveld met infill van gerecyclede autobanden.

Met de resultaten uit het voorliggende onderzoek kan een meer betrouwbare voorspelling worden gedaan over de periode waarbinnen er in een referentie kunstgrassysteem met lava en zand onderlagen geen milieurisico is ten gevolge van de uitloging van zink.

Het onderzoek is in overleg met het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) uitgevoerd door INTRON te Sittard in opdracht van Vereniging Band & Milieu / RecyBEM en Vereniging VACO.

Adsorptiecoëfficienten van zink in drainagezand en lava
Het onderzoek is uitgevoerd met schudproeven bij constante pH en met kolomproeven, waarbij de adsorptie van zink aan 3 typen drainagezand van verschillende herkomst en aan lava is onderzocht.

De adsorptie van zink blijkt sterk pH-afhankelijk. Hoe hoger de pH, hoe sterker de adsorptie van zink. De laagste pH waarde in de drie onderzochte zanden is pH 7,7. Bij een kunstmatig verlaagde en gestabiliseerde pH van 6,5 zijn in een schudproef de volgende adsorptiecoëfficiënten vastgesteld:

[1] INTRON rapport A924220/R20070368 (INTRON-3)_

Kd-waarde uit de constante pH schudproeven:

type zand/lava	Kd-waarde pH = 6,5	Kd-waarde pH = 7,5
	(L/kg)	(L/kg)
Zand Westerschelde	950	2000
Zand Cuijk	240	1200
Zand Merwede	180	900
Lava	340	750

Conclusie ten aanzien van milieurisico door uitloging van zink
Voor een referentie kunstgrassysteem met 10 cm lava en 30 cm zand berekenen we dan een doorslagtijd van zink uit deze onderlagen van 230 tot 1800 jaar afhankelijk van de laagopbouw en zuurgraad (pH 6,5 tot pH 7,5).

De berekening van de adsorptiecoëfficiënt en de hieruit berekende retardatie van zink op basis van de schudproeven wordt bevestigd door de kolomproeven.

Op basis van deze resultaten mag geconcludeerd worden dat de resultaten uit het vorige onderzoek tenminste gehandhaafd blijven. Feitelijk is er sprake van een aanzienlijk hogere adsorptie waardoor zink langer in de onderlagen wordt gebonden dan eerder berekend.

Herbruikbaarheid van de onderlagen
Het toegevoegde gehalte zink in het zand blijft tenminste 30 jaar onder de achtergrondwaarde van zink uit het Besluit bodemkwaliteit ([Zn] = 59 mg/kg bij < 2% lutum en < 2% organische stof). Daarmee blijft de zandlaag na 30 jaar gebruikt te zijn als onderlaag in een kunstgrasveld vrij toepasbaar voor alle functieklassen, mits het achtergrondgehalte zink in het zand bij de aanleg van het kunstgrasveld laag genoeg is.

Bij een systeem met 10 cm lava en 30 cm zand is er sprake van sterke zinkadsorptie in de lava toplaag. In dit geval blijft het toegevoegde zinkgehalte in de zandlaag gedurende de eerste 100 jaar ruim onder de achtergrondwaarde.

Voor de herbruikbaarheid van de lavalaag moet getoetst worden aan de uitlooggrenswaarde van zink voor bouwstoffen E_{LS10}= 4,5 mg/kg ds. Deze kan in de lavalaag worden bereikt na 30 jaar. In de praktijk zal na 30 jaar de herbruikbaarheid van de lavalaag getoetst moeten worden door het uitvoeren van een uitloogtest.

1. INLEIDING

De uitloging van zink uit rubber infill van gemalen autobanden is onderwerp geweest van uitgebreid onderzoek. De uitloging van zink uit rubber infill, die in toenemende mate optreedt bij veroudering van de rubber onder invloed van ozon in de buitenlucht, mag niet leiden tot verontreiniging van de bodem, het grondwater en het oppervlaktewater onder en rondom het kunstgrasveld.

De constructieve lagen onder het kunstgrasveld blijken bij te dragen aan het voorkomen van deze verontreiniging. In het vorige onderzoek[2] is vastgesteld, dat de lava- en zandlagen in een systeem met standaard opbouw zorgen voor een adsorptie van het zink. Op basis van het vorige onderzoek is geoordeeld/ingeschat dat gedurende de levensduur van het kunstgrassysteem (ca. 15 jaar) geen te hoge belasting van het omringende milieu van een kunstgrasveld plaatsvindt door de uitloging van zink.

Om de verspreiding van zink onder het kunstgrassysteem te voorspellen is in het vorig onderzoek een modelberekening uitgevoerd waarin gebruik gemaakt is van een adsorptiecoëfficiënt van 50 L/kg voor de binding van zink aan zand en een adsorptiecoëfficiënt van 10 L/kg voor de binding van zink aan lava. Na publicatie van INTRON 3 is er discussie ontstaan over de bruikbaarheid en betrouwbaarheid van deze adsorptiecoëfficiënten en is gesuggereerd dat met name de waarde van 50 L/kg voor binding aan zand te hoog is. Bij lagere adsorptiecoëfficiënten nemen de risico's voor verspreiding van zink naar het omliggende milieu toe.

De adsorptiecoëfficiënt van 50 L/kg voor zink aan zand werd gebaseerd op expert judgement van het RIVM, die daarbij gebruik gemaakt heeft van geochemische berekeningen naar de uitloging van zink in zandgrond ten behoeve van het Besluit Bodemkwaliteit. Aangezien drainagezand in het algemeen een erg laag organische stofgehalte bevat, is er discussie ontstaan over de juistheid van deze waarde.

De adsorptiecoëfficiënt van zink aan lava in het vorige rapport werd afgeleid van een laboratorium schudproef, die moeilijk te interpreteren was omdat de pH gedurende het experiment niet constant was gebleven. Aangezien de adsorptie van zink sterk beïnvloed wordt door de pH, is de adsorptiecoëfficiënt van 10 L/kg voor zink aan lava onzeker. De waarde van 10 L/kg wordt gezien als een conservatieve (worst-case) schatting van de adsorptiecoëfficiënt van zink aan lava.

Het doel van het onderzoek, dat hier gerapporteerd wordt, is om de juistheid te verifiëren van de mate van binding van zink aan drainagezand en lava.

Het onderzoek is in overleg met het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) uitgevoerd door INTRON te Sittard in opdracht van Vereniging Band & Milieu / RecyBEM en Vereniging VACO.

[2] INTRON rapport A924220/R20070368 U. Hofstra (2008) ("INTRON 3")

We willen de volgende vragen beantwoorden:

1. Wat zijn de adsorptiecoëfficiënten van zink in drainagezand en in lava? Waren de aannames in het vorige onderzoek terecht?
2. In het vorige onderzoek is geconcludeerd dat er gedurende de technische levensduur (15 jaar) geen sprake is van een milieurisico door uitloging van zink. In hoeverre wijzigt deze conclusie op basis van de nu bepaalde adsorptiecoëfficiënten?
3. Hoe hoog is het verwachte gehalte in de onderlagen na afloop van de gebruiksperiode en wat betekent dat voor het hergebruik van deze bouwstoffen?

Hiertoe is de adsorptie gemeten van zink aan een drietal typen drainagezand en aan lava. Om deze adsorptie vast te stellen zijn schudproeven en kolomproeven uitgevoerd. In hoofdstuk 2, waarin de werkwijze wordt beschreven, wordt hier op ingegaan.
De resultaten van de adsorptieproeven zijn weergegeven in hoofdstuk 3. Met behulp van de berekende adsorptiecoëfficiënten is de doorslagtijd van zink door de onderlagen zand en lava vastgesteld. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in hoofdstuk 4.

2. WERKWIJZE

2.1. Karakteristieken drainagezanden

Het onderzoek is uitgevoerd met een 3-tal typen drainagezand en een type lava, dat ook in de praktijk wordt gebruikt. De 3 typen drainagezand zijn aangeleverd door Grontmij en is afkomstig van drie verschillende winlocaties.

Tabel 1. Eigenschappen van de gebruikte zanden

analyse	eenheid	Zand 1	Zand 2	Zand 3
Winlocatie		Westerschelde	Cuijck	Merwede
Droge stof 105°C veldvochtig monster	%(m/m)	93,40	93,95	96,45
pH ($CaCl_2$)		8,10	7,87	7,72
Organisch stof	%(m/m)	0,5	0,4	0,5
$CaCO_3$	%(m/m)d.s.	3,46	0,68	1,02
Organische stof 550°C	%(m/m)d.s.	0,55	0,43	0,56
Lutum	%(m/m)	1,2	< 0,50	< 0,50
TOC	% m/m	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Sulfaat, zuuroplosbaar (SO_3)	%m/m	<0,03	0,04	<0,03
Aluminium	mg/kg	3,4	3,5	2,6
IJzer	mg/kg	9,0	4,3	4,7
Zink	mg/kg d.s.	10	8,0	63
Korrelgrootteverdeling				
Zeefdoorval 4,0 mm	%(m/m)	100	100	100
Zeefdoorval 2,0 mm	%(m/m)	100	99	100
Zeefdoorval 1,0 mm	%(m/m)	100	99	98
Zeefdoorval 0,5 mm	%(m/m)	100	94	80
Zeefdoorval 0,25 mm	%(m/m)	96	56	9
Zeefdoorval 0,125 mm	%(m/m)	7	10	1
Zeefdoorval 0,063 mm	%(m/m)	0,6	3,3	0,5

Het zand Westerschelde is het fijnste zand en het heeft een relatief hoog kalkgehalte, waarschijnlijk door de aanwezigheid van schelpen van deze marine winlocatie.
Het zand Merwede is het grofste zand. Waarschijnlijk is dit in de classificatie van NOC*NSF een M3d zand (funderingsdrainzand), terwijl de beide andere een M3c zand (onderbouwdrainzand) zijn.
Het organische stof gehalte voldoet aan de eisen voor zanden voor kunstgrasvelden (< 1%).

Opvallend is het hoge gehalte zink in het zand van Merwede, die hoger is dan de grenswaarde voor zand van de functieklasse achtergrondwaarde (59 mg/kg ds bij ≤ 2% lutum en ≤ 2% organische stof[3]). Wel moet worden vastgesteld, dat het hier niet gaat om een resultaat van een partijkeuring, maar van een aselect deelmonster uit een aangeleverde kleine hoeveelheid zand.
Zand uit zandwinning voldoet vrijwel altijd aan de grenswaarden voor de functieklasse achtergrondwaarde. Het Besluit bodemkwaliteit kent verschillende functieklassen (toepassingsgebieden) voor grond, De functieklasse achtergrondwaarde is altijd toegestaan. Daarnaast zijn er de functieklassen wonen en industrie, waarvoor hogere grenswaarden gelden. In de functieklasse industrie valt ook grond, dat in infrastructurele werken wordt toegepast (berm, talud). Het bevoegd gezag (de gemeente) bepaalt welke functieklasse waar van toepassing is.

De lava is Eifellith lava van Holcim Grondstoffen BV. Deze lava is afkomstig uit het Duitse Eiffelgebied.

2.2. Vooronderzoek schudproeven

2.2.1. Opzet

De adsorptieproeven zijn in principe uitgevoerd door een hoeveelheid zand gedurende een vastgestelde tijd te schudden met een oplossing van zink in water. De adsorptieproeven zijn uitgevoerd op het laboratorium bij een temperatuur van 20 °C.

- 100 gram zand wordt in een PE-fles gedaan
- hieraan wordt 1 liter zinkoplossing (zinknitraat in demi-water) toegevoegd
- het mengsel wordt gedurende een bepaalde tijd geschud
- het mengsel wordt gefiltreerd over een 0,45 µm filter
- zink in het filtraat wordt in oplossing gehouden door deze aan te zuren tot een pH 1-2 met salpeterzuur
- het gehalte zink wordt geanalyseerd met ICP-AES conform NEN-EN 12506

De volgende parameters zijn gevarieerd en geoptimaliseerd in het vooronderzoek:

- contacttijd
- concentratie zink
- pH

Het vooronderzoek is uitgevoerd met het zand van Merwede en het zand van Cuijk (buffertoevoeging). De karakteristieken van het zand zijn beschreven in hoofdstuk 2.1.

2.2.2. Contacttijd

De contacttijd is gevarieerd van 1 uur tot 2 dagen. Het blijkt dat na 8 uur sprake is van een constante situatie. Na langere tijd verandert de gemeten concentratie zink in het filtraat. Waarschijnlijk lost er enig CO_2 uit de lucht op in de oplossing, waardoor de pH verandert en de adsorptie ook verandert.

[3] Regeling bodemkwaliteit , Staatscourant 20 december 2007

2.2.3. Concentratie zink

De startconcentratie zink moet niet te laag zijn, omdat anders het gehalte zink in het water na adsorptie aan het zand lager is dan de detectiegrens.
Bij hoge concentraties zink treden er twee effecten op: een concentratie-effect en een pH-effect
Het concentratie-effect houdt in, dat adsorptieplaatsen aan het zand zo sterk worden bezet door zink, dat er geen sprake meer is van een eerste orde-evenwicht. De evenwichtsconstante is dan afhankelijk van het gehalte zink. Deze situatie wordt beschreven door de Freundlich adsorptie-isotherm:

$$Zn_{ads} = K \times Zn_{opl}^{1/n}$$

Zn_{ads}	=	zinkconcentratie geadsorbeerd aan zand (mg Zn/kg)
Zn_{opl}	=	zinkconcentratie in de waterfase na evenwichtsinstelling (mg Zn/l)
K	=	Freundlich adsorptiecoëfficiënt (L/kg)
n	=	Freundlich exponent (dimensieloos)

K en n zijn constanten bij een bepaalde temperatuur en pH.
Het pH-effect is merkbaar, omdat de zinkoplossing zwak zuur is. Door toevoeging van de zinkoplossing neemt de pH af en dit effect beïnvloedt de oplosbaarheid van het zink.

2.2.4. Zuurgraad pH

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de Kd van zink in sterke mate is gerelateerd aan de pH. De Kd kan voorspeld worden met de volgende formule[4]:

$$\text{Log Kd} = 0.62 * pH - 0.97$$

De onzekerheid rondom de geschatte waarde is ongeveer een factor 10. De ondergrens is bij een pH van 7 dus ongeveer een Kd van 234 L/kg.

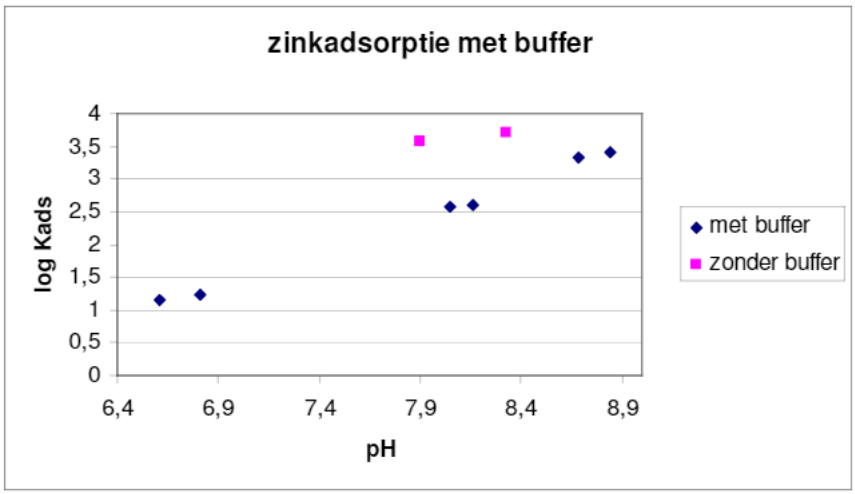
De sterke pH afhankelijkheid is een moeilijkheid bij het uitvoeren van de adsorptieproeven, omdat de een geringe verandering in pH het eindresultaat sterk beïnvloedt. De adsorptie van zink aan zand blijkt in het vooronderzoek zeer sterk afhankelijk van de pH. De pH verandert bij toevoeging van zink, afhankelijk van de zinkconcentratie, waardoor de schudproeven moeilijk, zoals gewenst, bij constante pH uitgevoerd kunnen worden.

Onderzocht is of het mogelijk is om de pH in te stellen met een buffer oplossing. Hiervoor is een acetaatbuffer gebruikt. De sterkte van de acetaatbuffer is gevarieerd van 0,05 mol/l tot 1 mol/l in het pH traject van pH = 6 tot pH = 9 om te zien of met een minimale buffersterkte ook de pH in te stellen is. Een minimale buffersterkte is wenselijk om de effecten van de buffer op de adsorptie minimaal te maken.

[4] S.Sauvé et al. Env.Sci.Tech. 34, p1125 (2000)

In de onderstaande figuur het resultaat weergegeven van een aantal metingen bij verschillende eind-pH's. Op de y-as staat de berekende adsorptiecoëfficiënt en op de x-as de pH.
De proeven, die hier zijn weergegeven, zijn uitgevoerd met een concentratie van 10 mg/l zink in aanwezigheid van 0, 0,05 of 0,1 mol/l buffer.

De afhankelijkheid van de pH in deze proef kan voor de schudproeven met buffer gefit worden met: log (K) = constante + 0,91 x pH, waarbij de regressiecoëfficiënt gelijk is aan 0,88



Figuur 1: Adsorptiecoëfficiënt als functie van de pH met en zonder ingestelde buffer.

Het blijkt dus, dat al een lage bufferconcentratie een effect heeft op de adsorptie van zink. Acetaat draagt bij aan de hoeveelheid opgeloste organische stof in oplossing (DOC), waarvan bekend is, dat die de uitloging van zink en andere metalen verhoogt en de adsorptie verlaagt.

Onderzocht is of het mogelijk is de pH in te stellen met salpeterzuur en natronloog op t = 0 en na 1 uur. Het blijkt echter, dat de pH aan het eind van de schudproef nog steeds sterk afwijkt van de ingestelde en na 1 uur gecorrigeerde pH.

2.3. Definitieve schudproeven bij constante pH

Uiteindelijk is de schudproef uitgevoerd met continue controle van de pH. Hiervoor is gebruik gemaakt van de opstelling voor de beschikbaarheidsproef (NEN 7371), waarin continue pH controle mogelijk is. De proeven zijn uitgevoerd met drie typen drainagezand en één type lava in een L/S-verhouding van L/S = 100. De karakteristieken van het zand zijn beschreven in paragraaf 2.4.

Een hoeveelheid zinknitraat is opgelost in demiwater zodat een oplossing ontstaat met een zinkconcentratie van 1 mg/L. Deze concentratie ligt in dezelfde ordegrootte als de maximale geschatte

emissie van zink uit rubber infill (1,3 mg/L, zie rapport INTRON 3) De contacttijd was 6 uur. In deze periode wordt het mengsel constant geroerd. Gedurende de proef wordt salpeterzuuroplossing (0,01 mol/l) toegevoegd om de pH op de gewenste waarde te krijgen. Van elk type zand en lava is de proef uitgevoerd bij pH 6,5 en pH 7.5.

Na afloop van de adsorptieproef is het zand-water mengsel gefiltreerd (0,45 µm) en is het gehalte zink gemeten in het filtraat met ICP-AES conform NEN-EN 12506. De hoeveelheid zink die geadsorbeerd is wordt berekend uit de beginconcentratie minus de hoeveelheid die aan het eind van de proef nog in oplossing is.

2.4. Kolomproef

In een kolomproef wordt het transport van zink in een zandkolom gemonitord. Het doel van de kolomproeven is om de adsorptiecoëfficiënt uit de schudproef langs een andere weg te toetsen.

Een drietal kolommen (interne diameter 50 mm) wordt gevuld met ongeveer 25 cm drainagezand (Winlocatie Cuijk) Het drainagezand wordt in de kolom verdicht. De dichtheid van het zand in de kolommen is 1,6 kg/dm^3. De kolommen worden verzadigd met water. Vervolgens wordt een eenmalige zinkdosering op het zand gebracht. Deze zinkoplossing is 10 ml met een zink-concentratie van 50 mg/L. Er wordt dus 0,5 mg zink op elke kolom gebracht.

Vervolgens worden de kolommen vijf weken lang gespoeld met regenwater.
De kolomproef is uitgevoerd met 3 verschillende waarden van de stroomsnelheid door de kolom:
De ingestelde pompsnelheden zijn 2 mm/uur, 5 mm/uur en 10 mm/uur. De eerste waarde is ongeveer de 90-percentielwaarde van de frequentieverdeling van de neerslagintensiteit 2001-2008 in de Bilt (data KNMI). De hoogste waarde is de standaard stroomsnelheid in een kolomproef.
De effectieve pompsnelheid in de kolom is berekend op basis van de totale hoeveelheid opgevangen eluaat. Deze blijkt iets lager dan de ingestelde snelheid vanwege de weerstand van de kolom

Het **regenwater**, dat gebruikt is bij de kolomproeven, is opgevangen op het dak van het laboratorium van INTRON te Sittard. Het water is opgevangen in open PE-vaten. Het gehalte opgelost zink in het regenwater is geanalyseerd en blijkt 87 µg/l.

Het eluaat wordt in 9 of 10 fracties geanalyseerd). Filtratie over 0,45 µm, analyse met ICP-AES conform NEN-EN 12506. Uit het verloop van de zinkconcentratie in de tijd is de adsorptie aan het zand vastgesteld. Aan het eind van het experiment is de kolom met de hoogste flowsnelheid (10 mm/uur) nader onderzocht door het gehalte zink te meten in een aantal doorsneden van de kolom. Hiertoe is de zandkolom uit de kolom geschoven en is de gehele kolom (800 gram zand) in de lengte verdeeld in 8 segmenten (100 gram per segment). De segmenten zijn 0-3 cm, 3–6 cm, 6–9 cm, 9–12 cm, 12-15 cm, 15-18 cm, 18-21 cm en 21-25 cm. De analyse is uitgevoerd als totaal zink analyse na destructie met salpeterzuur en zoutzuur (NEN 6465). De monsters zijn gemeten met ICP-AES.

3. RESULTATEN ADSORPTIEPROEVEN

3.1. Schudproeven bij constante pH

De resultaten van de proeven met constante pH zijn weergegeven in tabel 2. De proeven zijn uitgevoerd bij twee pH's: 6,5 en 7,5. Uit het vooronderzoek was al duidelijk, dat bij nog hogere pH de adsorptiecoëfficiënt Kd hoger dan 300 is (zie figuur 1 in hoofdstuk 2). De ruwe gegevens van het adsorptie-experiment zijn opgenomen in bijlage 1.

Tabel 2. Kd-waarde uit de constante pH schudproeven

type zand/lava	Kd-waarde pH = 6,5	Kd-waarde pH = 7,5
	(L/kg)	(L/kg)
Zand 1. Westerschelde	950	2000
Zand 2. Cuijk	240	1200
Zand 3. Merwede	180	900
Lava	340	750

De adsorptiecoëfficiënt Kd blijkt zoals verwacht af te hangen van de pH. Bij pH 7,5 is de adsorptiecoëfficiënt 2 tot 4 keer hoger dan bij pH = 6,5.
De adsorptiecoëfficiënt Kd blijkt ook af te hangen van het type zand. Het zand uit de Westerschelde heeft de hoogste adsorptiecoëfficiënt. Aangezien de pH is ingesteld is de oorzaak van deze hogere adsorptiecoëfficiënt waarschijnlijk niet het relatief hoge kalkgehalte, maar de hogere fijnheid van dit zand.

De adsorptiecoëfficiënt van het onderzochte lava ligt in de bandbreedte van de adsorptiecoëfficiënten van de onderzochte zanden.

3.2. Resultaten kolomproeven

3.2.1. Zinkconcentraties in het eluaat

In de 3 kolomproeven, die met zand 2 (Cuijk) zijn uitgevoerd, is gedurende 34 dagen water door de kolom gespoeld. De effectieve flowsnelheid per pomp was 8,5 mm/uur, 4,7 mm/uur en 2,0 mm/uur. Op 10 tijdstippen zijn de pH en het gehalte zink in het eluaat gemeten.

Tabel 3. Resultaten van de metingen met de kolomproeven bij 3 flowsnelheden

uur	8,5 mm/uur		4,7 mm/uur		2,0 mm/uur	
	zink	pH	zink	pH	zink	pH
	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)	
8	< 0,02	7±1*	< 0,02	7±1*	< 0,02	7±1*
24	< 0,02	7±1*	< 0,02	7±1*	< 0,02	7±1*
72	< 0,02	7,99	< 0,02	8,03	< 0,02	8,38
144	< 0,02	8,04	< 0,02	8,02	< 0,02	8,18
192	< 0,02	8,04	< 0,02	8,02	< 0,02	8,17
292	< 0,02	7,59	< 0,02	7,60	< 0,02	8,13
360	< 0,02	7,77	< 0,02	7,81	< 0,02	7,98
481	< 0,02	7,68	< 0,02	7,70	< 0,02	8,01
650	< 0,02	7,81	< 0,02	7,89	< 0,02	8,00
818	< 0,02	7,77	< 0,02	7,93		

In de eerste twee fracties is de pH met een teststrip gemeten vanwege de beperkte hoeveelheid water. De nauwkeurigheid hiervan is gering.

Er wordt geen meetbare hoeveelheid zink aangetroffen in het eluaat van de kolomproef, terwijl de zinkconcentratie in het ingaande water gelijk is aan 0,087 mg/l en er zink op de kolom is aangebracht. Het zink blijft dus gedurende de gehele proef achter in de kolom en is daar geadsorbeerd aan het zand.

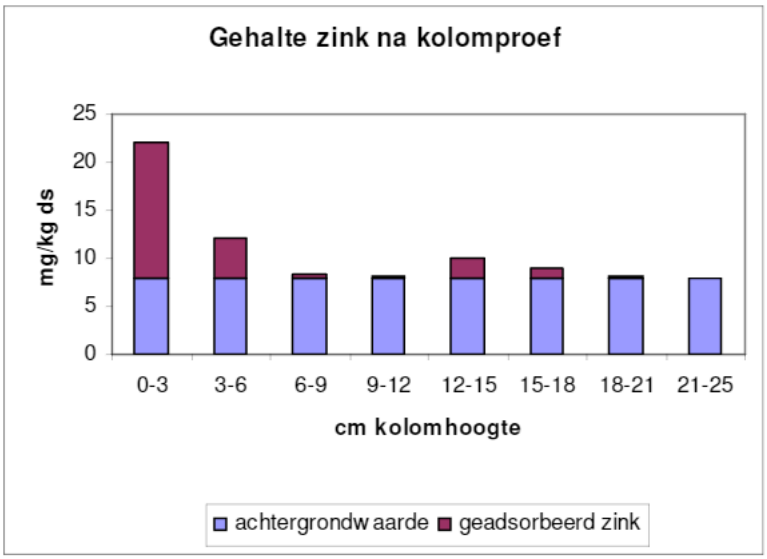
3.2.2. Zinkgehalte in zandprofiel

De kolom met de hoogste pompsnelheid (8,5 mm/uur) is nader onderzocht door het gehalte zink te meten in een aantal doorsneden van de kolom. Deze analyse is uitgevoerd als totaal zink analyse na destructie.

Tabel 4. Gehalte zink in de segmenten na afloop van de kolomproef

laag 1 (0 - 3 cm)	22 mg/kg ds
laag 5 (12 – 15 cm)	10 mg/kg ds
laag 8 (21 – 25 cm)	7,8 mg/kg ds

Het gehalte zink in het oorspronkelijke zand (8,0 mg/kg) moet hiervan worden afgetrokken. In de onderstaande grafiek is onderscheid gemaakt tussen zink, dat voor aanvang van de proef al in het zink aanwezig was (blauw) en zink, dat is toegevoegd (paars):



Figuur 2. Zinkgehalte in het zandprofiel in de kolom met drainage zand, na 5 weken infiltratie met regenwater.

Bijna alle zink is dus nog aanwezig in het eerste segment van de kolomproef.

Op basis van de schudproeven kunnen we de transportafstand van het zink voorspellen. Bij Kd = 230 l/kg is de retardatiefactor gelijk aan R = 10500 (zie hoofdstuk 5). Er is 6989 mm water door de kolom gegaan. Voor zink verwachten we dus een transportafstand van circa 7 mm (= 6989/1050). Dit komt dus overeen met de waarneming in de kolomproef, waarbij we vaststellen, dat vrijwel alle zink nog in het eerste segment (0-3 cm) aanwezig is.

Voorts is te zien dat een onbekend deel van het zink in de kolom al verder dan 3 cm getransporteerd. Het is een normaal verschijnsel in kolomexperimenten dat door dispersie en diffusie het front niet heel scherp is. Een deel van het zink zal het front vooruitsnellen, terwijl een ander deel achter het front aankomt. De hoogste zinkconcentraties worden echter aangetroffen rond het tijdstip dat berekend wordt met de retardatie, dan wel de adsorptiecoëfficiënt.

4. RISICOBEOORDELING VOOR HET KUNSTGRASSYSTEEM

4.1. Vergelijking met literatuurwaarden

Uit tabel 2 blijkt, dat de adsorptiecoëfficiënt van zink aan zanden varieert van Kd = 180 L/kg (bij Merwedezand bij pH = 6,5) tot 2000 (bij Westerscheldezand bij pH = 7,5. De nu vastgestelde adsorptiecoëfficiënt van zink aan zand is hoger dan de adsorptiecoëfficiënt die in het vorig onderzoek is gebruikt om de adsorptie van het zink aan het zand te schatten (Kd = 50 l/kg). In het vorig onderzoek was een voorzichtige schatting toegepast op basis van geochemische berekeningen aan zure zandgrond (pH 4.7). Deze keuze wordt nu bevestigd door experimenteel onderzoek. Doordat de waarden nu experimenteel zijn bepaald kan nu een realistische waarde berekend worden voor de retardatie van zink in het drainagezand. De drainagezanden hebben aanzienlijk hogere pH's, waardoor de retardatie veel hoger is, die ruimer is dan de vorige die berekend werd met de voorzichtige schatting van Kd.

4.2. Berekening van de doorslagtijd van de onderlagen

Uit de adsorptiecoëfficiënt van het zand en van de lava kan de retardatiecoëfficiënt worden berekend, een maat voor de vertraging van de zinkuitspoeling, ten opzichte van de transportsnelheid van water. We gaan uit van een pH in het systeem van pH = 6,5. Bij hogere pH, zoals tot nu toe in de praktijk en in kolomproeven (hoofdstuk 5) waargenomen is de adsorptiecoëfficiënt nog hoger.

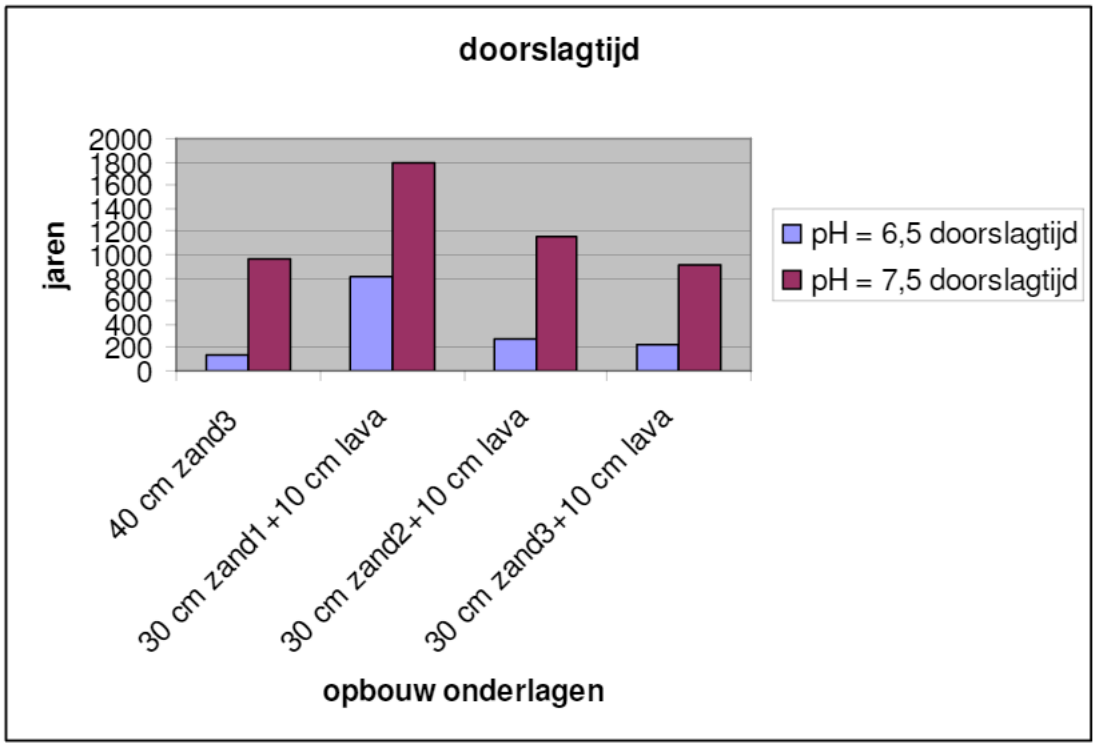
$R = 1 + K * \rho/\theta$

waarin:
ρ is de dichtheid (1,6 kg/l)
θ is de het porievolume (0,35)

Voor lava (Kd = 340 bij pH = 6,5) berekenen we een retardatiefactor van R = 1500. Voor het zand met de laagste adsorptiecoëfficiënt (Kd = 180 zand 3 bij pH = 6,5) berekenen we een retardatiefactor van R = 820.
De doorbraak van water in een 10 cm dikke laag lava is 100 mm* 0,35 / 600 mm[5]/jaar = 0,06 jaar. Dit betekent, dat de doorbraak van zink uit de 10 cm dikke lavalaag plaatsvindt na 88 jaar.
De doorbraak van water in een 30 cm dikke laag zand is 0,18 jaar. Dit betekent, dat de doorbraak van zink uit de zandlaag plaatsvindt na 144 jaar.

[5] Hierbij wordt uitgegaan van een gemiddelde neerslag van 800 mm en een verdamping op kunstgras van 200 mm/jaar. De netto infiltratie bedraagt dan 600 mm/jaar

In de onderstaande figuur staat de berekende doorslagtijd voor de een onderlaag van 40 cm zand 3 en voor onderlagen van 30 cm zand en 10 cm lava voor de 3 onderzochte zanden



Figuur 3. Berekende doorslagtijd voor zand uit een systeem met 40 cm zand of 30 cm zand en 10 cm lava voor de 3 onderzochte zanden.

De totale berekende doorbraaktijd bij een pH = 6,5 in de onderlagen is dus minimaal 190 jaar bij 40 cm zand en minimaal 230 jaar bij 10 cm lava en 30 cm zand.
In de praktijk zal het opgeloste zink niet als een front door de laag diffunderen, maar zal er dispersie in de laag optreden. Hierdoor zal een deel van het zink met een lage concentratie iets eerder uitlogen en zal een deel van het zink nog meer vertraagd uitlogen. Op het moment van de berekende doorslagtijd zullen de hoogste zinkconcentraties aanwezig zijn. Aangezien de binding van zink aan lava en zand sterk is, is het niet te verwachten, dat er op een termijn van enkele tientallen jaren problemen ontstaan met zinkuitloging, ook niet als dispersie wel in de berekeningen is gekwantificeerd.

In de praktijk zullen eerder imperfecties in de systeemopbouw (waterdoorlatende scheuren in de onderlaag, kanaalvorming) kunnen leiden tot een eerdere doorbraak van zink dan hierboven is berekend.

4.3. Effect van pH

De natuurlijke pH van de onderzochte zanden is ongeveer pH = 8 (zie tabel 1). We verwachten, dat de pH van het drainagezand tijdens de gebruiksduur niet sterk zal veranderen. Drainagezand in Nederland is meestal afkomstig van rivierzand uit Nederland. Dit zand is ooit lang gelden afgezet als sediment in de delta van de Rijn en de Maas en is in de loop van duizenden jaren al verder schoongewassen. Kalk en andere stoffen zijn al uit het zand gewassen. Het zand bestaat voornamelijk uit kristallijn silica. Additionele percolatie met regenwater op een kunstgrasveld zal daarom geen sterk effect hebben op de pH van dit zand, omdat de minerale samenstelling onveranderd zal blijven.

Uit het veldonderzoek blijkt, dat de pH van het drainagewater uit de onderzochte velden varieerde van pH = 6,9 tot pH = 8,1[6]. Dit is dus hoger dan de onderzochte pH = 6,5 in het adsorptieonderzoek.

De pH zou wel verder kunnen afnemen tijdens de gebruiksfase door verontreinigingen van rottend organische materiaal op het veld. Plantenresten, zoals opgewaaide bladeren kunnen rotten en hierdoor worden organische zuren (humuszuren) gevormd, die met het regenwater meegevoerd kunnen worden de bodem in. Om die reden moet het veld steeds vrij van rottend plantenafval worden gehouden.

4.4. Gehalte zink in de onderlagen na de gebruiksperiode

Door adsorptie van zink aan de onderlagen lava en zand zal het gehalte zink in deze lagen toenemen. Met behulp van de berekende adsorptiecoëfficiënten kunnen we het gehalte zink in deze lagen voorspellen. Bij de berekening gebruiken we als input het gehalte zink, dat uit het instrooirubber uitloogt. Hierbij gebruiken we een bandbreedte. De laagste waarde is afkomstig van de metingen aan de verouderingsproef (lysimeterproef), de hoogste is gebaseerd op de meting van de kolomproef (zie INTRON 3 rapport).

[6] INTRON rapport A844740/R20090015 “Zink in drainagewater onder kunstgrasvelden met SBR”

Tabel 5. Berekende concentratietoename van zink in de lava en het zand bij een bepaalde gebruikstijd onder kunstgras ingestrooid met rubbergranulaat van personenautobanden in een opbouw van 10 cm lava en 30 cm zand, resp. 40 cm zand.

	systeem 10 cm lava + 30 cm zand		systeem 40 cm zand
aantal jaren	toegevoegd zink in lava (mg/kg ds)	toegevoegd zink in zand (mg/kg ds)	toegevoegd zink in zand (mg/kg ds)
1	0,4 - 5	0	0,1 – 1,6
15	6 - 73	0	1,9 - 24
30	11-150	0	3,8 – 49
100	33-420	2 - 21	13 - 163

Het toegevoegde gehalte zink in het zand blijft in 30 jaar onder de achtergrondwaarde van zink uit het Besluit bodemkwaliteit ([Zn] = 59 mg/kg bij < 2% lutum en < 2% organische stof). Als het totale gehalte zink in het zand (natuurlijke achtergrond plus toevoeging) lager blijft dan 59 mg/kg ds, blijft het zand na eventueel verwijderen uit het werk overal toepasbaar (functieklasse achtergrondwaarde). Als het totale gehalte zink hoger is, is het nog steeds toepasbaar, maar dan in de functieklasse wonen of in de functieklasse industrie. De functieklasse industrie omvat naast de toepassing op industrieterreinen ook de toepassing in infrastructurele werken.

We adviseren om het drainagezand in het kunstgrasveld terugneembaar aan te brengen, dat wil zeggen door kleur of door een tussenlaagje herkenbaar gescheiden van de onderliggende van nature aanwezige bodem. Het zand kan dan indien gewenst verwijderd worden.

Het gehalte zink in de lava neemt sterker toe dan berekend in het eerdere rapport, omdat er nu een hogere adsorptiecoëfficiënt voor zink is bepaald. Lava is een bouwstof. Voor een bouwstof gelden geen eisen aan het gehalte zink in de bouwstof, maar aan de uitloging van zink uit de bouwstof. Deze uitloging wordt beoordeeld met de kolomproef. De grenswaarde voor uitloging met de kolomproef is $E_{L/S10}$ = 4,5 mg/kg ds. Met behulp van de bepaalde adsorptiecoëfficiënt kunnen we ook inschatten, wat de uitloging zal zijn bij een bepaald gehalte zink in de lava. De kolomproef wordt uitgevoerd bij een water/lava verhouding van 10. Bij deze L/S verhouding verwachten we een gehalte in het eluaat van [L] = (gehalte zink in lava) / (Kd + 1).
Dit betekent, dat bij een Kd = 330 l/kg, de grenswaarde voor de uitloging juist zou worden bereikt bij een gehalte zink in de lava van 150 mg/kg ds. De lava is bij een hogere uitloogwaarde niet meer toepasbaar als ongebonden bouwstof onder het Besluit bodemkwaliteit. Wel kan er dan bijvoorbeeld een cementgebonden vormgegeven bouwstof van worden gemaakt, waarin het zink blijvend wordt vastgelegd. Bij gebruik van de gemeten uitloging in de praktijkverouderingsproef (lysimeterproef) wordt deze uitlooggrenswaarde niet bereikt.

5. CONCLUSIES

Aan het begin van dit onderzoek zijn de volgende vragen geformuleerd:

1. Wat zijn de adsorptiecoëfficiënten van zink in drainagezand en in lava? Waren de aannames in het vorige onderzoek terecht?
2. In het vorige onderzoek is geconcludeerd dat er gedurende de technische levensduur (15 jaar) geen sprake is van een milieurisico door uitloging van zink. In hoeverre wijzigt deze conclusie op basis van de nu bepaalde adsorptiecoëfficiënten?
3. Hoe hoog is het verwachte gehalte in de onderlagen na afloop van de gebruiksperiode en wat betekent dat voor het hergebruik van deze bouwstoffen?

1. Wat zijn de adsorptiecoëfficiënten van zink in drainagezand en in lava? Waren de aannames in het vorige onderzoek terecht?

Het blijkt, dat de adsorptiecoëfficiënten van zink aan zand en lava, hoger zijn dan werd aangenomen in het vorig onderzoek. In het vorige onderzoek zijn terecht veilige aannames gedaan over de adsorptiecoëfficiënten, aangezien experimentele gegevens over de binding van zink aan lava en drainagezand toen nog ontbraken

2. In het vorige onderzoek is geconcludeerd dat er gedurende de technische levensduur (15 jaar) geen sprake is van een milieurisico door uitloging van zink. In hoeverre wijzigt deze conclusie op basis van de nu bepaalde adsorptiecoëfficiënten?

De conclusie, dat er gedurende de technische levensduur (15 jaar) geen sprake is van een milieurisico door uitloging van zink wordt bevestigd door het huidige onderzoek. De conclusies uit het vorige onderzoek waren terecht, maar aan de voorzichtige kant. In het vorige onderzoek was een doorslagtijd van 50 jaar berekend voordat geadsorbeerd zink uit de onderlagen vrijkomt.

In het huidige onderzoek naar zinkadsorptie berekenen we nu een minimale doorslagtijd van 230 jaar tot maximaal 1800 jaar, afhankelijk van de laagdikten en zuurgraad in de onderlagen (10 cm lava en 30 cm zand pH 6,5-7,5). Deze periode is langer dan de termijn, waarop de grenswaarden in het Besluit bodemkwaliteit zijn gebaseerd (100 jaar).

Bij de aanleg en gedurende de levensduur van een kunstgrasveld kunnen mogelijke imperfecties in de laagopbouw (kanaalvorming) en verlaging van de pH optreden (door organisch materiaal op het kunstgrasveld). Dit in afwijking van de gecontroleerde laboratoriumproeven. Om deze reden zal er mogelijk eerder dan de berekende 230 tot 1800 jaar zink vrijkomen uit de onderlagen (10 cm lava en 30 cm zand pH 6,5-7,5). We stellen daarom voor om bij vervanging van de kunstgrasmat te controleren of de onderlagen nog een compacte structuur hebben en zonodig scheurvorming of onregelmatigheden te herstellen.

3. Hoe hoog is het verwachte gehalte zink in de onderlagen na afloop van de gebruiksperiode en wat betekent dat voor het hergebruik van deze bouwstoffen?

De mogelijkheden voor hergebruik van het zand hangen af van het totale zinkgehalte, dus de natuurlijke achtergrondconcentratie plus toegevoegd zink door uitloging van rubbergranulaat. Het zink dat door uitloging van rubbergranulaat wordt toegevoegd aan de bodem ligt na 15 jaar naar verwachting lager dan functieklasse achtergrondwaarde (59 mg/kg). Het ligt dus aan de beginkwaliteit van het drainagezand of het zand in dezelfde functieklasse blijft. Als het totale gehalte zink in het zand lager blijft dan 59 mg/kg ds, blijft het zand na eventueel verwijderen uit het werk overal toepasbaar (functieklasse achtergrondwaarde). Als het gehalte zink hoger is, is het nog steeds toepasbaar, maar dan in de functieklasse wonen of in de functieklasse industrie. De functieklasse industrie omvat naast de toepassing op industrieterreinen ook de toepassing in infrastructurele werken.

De technische levensduur van de kunstgrasmat bedraagt 15 jaar. De onderlagen kunnen technisch gezien langer mee. Bij langer gebruik van de onderlagen kan na 30 jaar een beoordeling van de actuele adsorptiecapaciteit van de onderlagen plaatsvinden om te beoordelen of de onderlagen nog langer gebruikt kunnen worden in deze toepassing.

Bij een opbouw van 10 cm lava en 30 cm zand vindt de adsorptie voornamelijk plaats in de lavalaag. Het zand blijft bij een gebruiksperiode van 30 jaar dan vrijwel vrij van zink. De lava is een bouwstof en de uitloging ervan moet voldoen aan de grenswaarde uit het Besluit bodemkwaliteit. Na minimaal 30 jaar kan op basis van een worst case berekening deze uitloogwaarde bereikt worden voor het lava. Indien dit het geval is kan de lava niet meer toegepast worden als ongebonden bouwstof. Wel kan er dan bijvoorbeeld een cementgebonden vormgegeven bouwstof van worden gemaakt, waarin het zink blijvend wordt vastgelegd.

Aanbevelingen

Bij langer gebruik van de onderlagen kan na 30 jaar een beoordeling van de actuele adsorptiecapaciteit van de onderlagen plaatsvinden om te beoordelen of de onderlagen nog langer gebruikt kunnen worden in deze toepassing.

We stellen voor om bij vervanging van de kunstgrasmat te controleren, of de onderlagen nog een compacte structuur hebben, en zonodig scheurvorming of onregelmatigheden te herstellen.

De binding van zink wordt in hoge mate bepaald door de zuurgraad van de onderlagen. Voorkomen moet worden dat de pH in het kunstgrassysteem daalt. Plantenresten, zoals opgewaaide bladeren kunnen zuren produceren, die met het regenwater meegevoerd kunnen worden de bodem in. Om die reden moet het veld steeds vrij van rottend plantenafval worden gehouden.

Geadviseerd wordt het kunstgrasveld wel terugneembaar aan te brengen, dat wil zeggen door kleur of door een tussenlaagje herkenbaar gescheiden van de onderliggende van nature aanwezige bodem. Het zand kan dan indien gewenst verwijderd worden.

BIJLAGE

Tabel B1

Adsorptieproef

C_0 1 mg/L

	pH	S (g)	L (ml)	Zn C_L(ug/L)	L:S	Zn C_S mg/kg)	K (L/kg)
Zand 1	6.5	14.38	1514.62	100	105	95	948
Zand 2	6.5	14.34	1451.32	300	101	71	236
Zand 3	6.5	14.64	1486.33	360	102	65	180
lava	6.5	15.11	1534.56	230	102	78	340
Zand 1	7.5	14.33	1467.99	48	102	98	2032
Zand 2	7.5	14.38	1477.65	76	103	95	1249
Zand 3	7.5	15.23	1564.7	100	103	92	925
lava	7.5	14.29	1460.78	120	102	90	750

Tabel B2

Kolomexperiment: (zand 3)

0-3 cm	22 kg/kg ds
3-6 cm	12 mg/kg ds
6-9 cm	8,4 mg/kg ds
9-12 cm	8,1 mg/kg ds
12-15 cm	10 mg/kg ds
15-18 cm	8,9 mg/kg ds
18-21 cm	8,2 mg/kg ds
21-25 cm	7,8 mg/kg ds

Watervolume

	Water volume(ml)	tijdsduur (uur)
Kolom 1	13722.03	818
Kolom 2	7596.53	818
Kolom 3	2594.3	650

Tabel B3. Zuurneutraliserend vermogen, gemeten in de adsorptieproeven

type zand/lava	zuurneutraliserend vermogen bij pH = 6,5	zuurneutraliserend vermogen bij pH = 7,5
	(mol/kg)	(mol/kg)
Zand Westerschelde	0,05	0,02
Zand Cuijk	0,01	0,03
Zand Merwede	0,03	0,03
Lava	0,02	0,02