

SECOND OPINION**"Functionele levensduur van minerale afdichtingsmaterialen en kunststoffen in vloedichte eindafwerking van stortplaatsen"**

H.A. van der Sloot

Revisies		
A		
B		
Opgesteld door:	Goedgekeurd door:	ECN-Schoon Fossiel
H.A. van der Sloot	R.N.J. Comans	
Geverifieerd door:	Vrijgegeven door:	
J.J. Dijkstra	C.A.M. van der Klein	

Verantwoording

Opdracht van IPO. Projectnummer 8.27343.

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	5
LIJST VAN FIGUREN	5
SAMENVATTING	6
1. INLEIDING	8
2. ISOLATIE VERSUS PERCOLAATKWALITEITONTWIKKELING	9
2.1 Voorzieningen stortplaatsen	9
2.2 Lange termijn percolaatkwaliteit	10
2.3 Impact modellering stortplaats	11
2.4 Uitvoeringsaspecten Categorie II bouwstof	12
2.5 Lange termijn gedrag Categorie II bouwstof	13
2.6 Vergelijking diverse stortregimes en grootschalige toepassing van secundaire materialen.	14
3. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN MINERALE AFDICHTINGEN	16
3.1 Afleiding van Kritische Zoutlast	16
3.2 Concentraties kationen in stortpercolaat	17
3.3 Concentraties cationen in poriewater AVI bodemas	19
3.3.1 Oplosbaarheid (2-waardige ionen) versus uitspoeling (Na en K)	21
3.4 Diffusiesnelheid door de steunlaag	24
3.4.1 Verzadigd	24
3.4.2 Onverzadigd	25
3.5 Andere invloedsfactoren	25
4. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN HYDROSTAB	27
5. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN KUNSTSTOFFEN ALS ISOLATIEMATERIAAL	28
5.1 Kunststoffolies	28
5.2 Drainagematten	28
5.3 Kunststofdrainageleidingen	29
6. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN DE GEHELE AFDICHTINGSCONSTRUCTIE IN RELATIE TOT HET LANGE-TERMIJN GEDRAG VAN TOEGEPASTE MATERIALEN	30
6.1 Combinatie afdichting	30
6.2 Nazorg van de isolatievoorziening	30
6.3 Isolatie versus materiaalverbetering of combinatie daarvan	30
6.4 Maatregelen	30
6.5 Voorgestelde proeven	31
7. CONCLUSIES	32
8. AANBEVELINGEN	34
REFERENTIES	35
BIJLAGE I: VALIDATIE EN 12457 PARTS 1-4 (CEN/TC 292)	39
BIJLAGE II: UITLOOGGEDRAG KRITISCHE COMPONENTEN AVI BODEMAS	40

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1	<i>Vergelijking van verschillende stortsituaties/bouwactiviteiten</i>	15
Tabel 2	<i>Schatting poriewater samenstelling uit de 1e fractie van de kolomproef NEN 7343(1995).</i>	20
Tabel 3	<i>Laboratorium- en veldmetingen van een- en tweewaardige zouten in AVI bodemas</i>	20
Tabel 4	<i>SAR waarden berekend voor langdurig aan externe condities blootgestelde bodemas</i>	22

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1	<i>Percolaatconcentraties van diverse binnenlandse en buitenlandse stortplaatsen (Duurzaam Storten, 2002)</i>	11
Figuur 2	<i>Relatie tussen hydrologie en kwaliteit van percolaat naar de waterzuivering en percolaat dat naar de ondergrond lekt (Stort scenario (CD Rom, in prep. 2002) Annex II, 2002)</i>	12
Figuur 3	<i>Cumulatieve emissie en concentratie van Mo uit AVI bodemas als functie van de tijd bij verschillende infiltratiesnelheden en een toepassingshoogte van 8 m. Concentraties in grondwater op 20 m naast de weg als functie van de infiltratie bij een GW stroomsnelheid van 6 m/jaar en als functie van de GW stroomsnelheid bij een infiltratie van 50 mm/jaar</i>	14
Figuur 4	<i>Afleiding van kritische zones en toegepaste meetbereik testoplossingen</i>	17
Figuur 5	<i>SAR en totaal concentratie (meq/l) voor individuele afvalstoffen en een mengsel van afvalstoffen (Project Nauerna, Duurzaam Storten, 2002)</i>	18
Figuur 6	<i>Laboratorium en veld data voor een representatief afvalmengsel in relatie tot de in het Alterra rapport opgevoerde kritische zones op basis van SAR en totaal concentratie (Pilot Nauerna, 2002)</i>	18
Figuur 7	<i>Vergelijking van SAR en Totaal concentratie waarden berekend voor stort percolaat, bioreactor percolaat en AVI bodemas monofill met de door Boels aangegeven potentieel kritische zones voor de drie typen isolatievoorzieningen op basis van kleimineralen</i>	19
Figuur 8	<i>SAR waarden afgeleid uit kolom en pH stat proefresultaten Vierkant: pH range voor kolomproef. Cirkel pH bereik na neutralisatie. Onderbroken lijn: voorspelde totaal concentratie of activiteit (Ca+Mg+Na+K) voor neutrale pH condities in AVI bodemas</i>	21
Figuur 9	<i>SAR waarden berekend voor 20 jaar in de praktijk aan uitloging en neutralisatie blootgestelde bodemas (naar Meima, 1997).</i>	23
Figuur 10	<i>Laboratorium en veld data voor bodemas in relatie tot de in het Alterra rapport opgevoerde kritische zones op basis van SAR en totaal concentratie</i>	24
Figuur 11	<i>Relatie tussen aanvullende diffusierestrictie bij verschillende mate van waterverzadiging van het transport medium (hier zand)</i>	25

SAMENVATTING

In opdracht van IPO is een second opinion uitgebracht met betrekking tot het door Alterra in samenwerking met TNO uitgebrachte rapport "Functionele levensduur van minerale afdichtingsmaterialen en kunststoffen in vloeistofdichte eindafwerking van stortplaatsen".

Een belangrijke tweedeling in de beoordeling is gemaakt tussen minerale afdichtingen en kunststoffen.

Voor minerale afdichtingen ligt het accent op de aantasting van de afdichting door uitwisseling van eenwaardige - door tweewaardige ionen. In het rapport van Alterra is met behulp van de verhouding van een en tweewaardige ionen (de z.g. SAR waarde) en de totaal concentratie (uitgedrukt in meq/l) een relatie afgeleid waarmee de functionaliteit van de afdichting beschreven kan worden. De feitelijke meetwaarden, waarop deze berekende lijnen gebaseerd zijn vallen in een relatief nauw meetbereik, terwijl uitspraken worden gedaan over SAR waarden tot 7 à 8 maal het beproefde bereik. Gegeven de beperkte dataset, waarop de tolerantielijnen voor diverse isolatiematerialen zijn gebaseerd, kan de vergaande conclusie die uit deze data naar voren komt, namelijk dat Trisoplast bijna het enige materiaal is dat aan de eisen kan voldoen, niet hard worden gemaakt. Daarvoor zijn de onzekerheden in helling en intercept te groot. Het is niet duidelijk hoe herhaalbaar een individuele meting onder overigens gelijkblijvende condities voor hetzelfde materiaal is. Meer metingen kunnen dit manco deels oplossen.

Er wordt vanuit gegaan dat alleen de poriewaterkwaliteit van de steunlaag relevant is. Afhankelijk van het zoutniveau in de afvalstof kan het afval zelf wel degelijk mede een rol spelen. Dat wordt mede bepaald door de mate van waterverzadiging van de steunlaag, waarover bij ECN geen informatie beschikbaar is. Die bepaalt namelijk hoe snel het evenwicht tussen afvalporiewater en steunlaagporiewater op het grensvlak van steunlaag en minerale afdichting bereikt is.

Dat minerale afdichtingen potentieel in de gevaren zone zitten bij een aantal afvalstoffen is wel duidelijk gezien de vergelijking met percolaat gegevens, metingen aan een afvalstoffenmengsel en aan AVI bodemas. Het accent in de beoordeling van een bovenafdichting komt te liggen op de relatie tussen de levensduur van de afdichting en de resteffecten van een afnemende bronterm. Dit aspect is bij de opstellers van het rapport geen overweging geweest, maar is gezien de beoordeling of 50 – 100 jaar voldoende bescherming biedt wel een cruciale vraag. Dit betekent dat de isolatie niet meer als een los onderdeel gezien wordt, maar als een integraal aspect van de totale beoordeling van een werk (b.v. categorie II bouwstof) of een stort van een specifieke afvalklasse.

De in het Alterra rapport voorgestelde werkwijze om de levensduur van minerale afdichtingen te bepalen is state of the art. Het gelijktijdig meewegen van verschillende stress factoren zou wel gewenst zijn, maar is op dit moment nog niet mogelijk. Dat betekent dat de "overdimensionering" ten opzichte van de eis in de regelgeving niet aan een parameter toegerekend mag worden.

De mate waarin de lange termijn aspecten van Hydrostab behandeld worden ten opzichte van minerale afdichtingen op kleibasis en kunststofafdichtingen is niet in verhouding. Om die reden kan Hydrostab (nog) niet als een gelijkwaardig alternatief worden gezien. Nader onderzoek naar de duurzaamheid van Hydrostab wordt aanbevolen.

Bij de evaluatie van de levensduur van kunststofafdichtingen is het van belang een scheiding te maken tussen de verwachte levensduur van kunststofafdichtingen in bulk en de verwachtingen

ten aanzien van lasnaden. In de rapportage zelf worden ten aanzien van de lasverbindingen de nodige voorbehouden gemaakt. Vooral in het licht van de verhouding in duurzaamheid van lassen ten opzichte van die van de grote folie oppervlakken onder gegeven blootstellingscondities is de vraag hoe de levensduur van de kunststofafdichting als geheel zonder meer naar 100 jaar uitgebreid kan worden.

Voor de werking van drainage matten als onderdeel van een bovenafdichtingsconstructie is het van belang dat ze op lange termijn hun functie van drainagekanaal blijven vervullen. Belangrijk is daarom dat de fysische integriteit (luchtruimte) behouden blijft ondanks de belasting, die langdurig of incidenteel (zwaar materieel) op het materiaal inwerkt en eventuele chemische stress factoren, waarbij VOC's afkomstig uit afval een potentieel risico vormen. Dit aspect is niet behandeld. Voor drainage buizen (stug materiaal) zijn ook met name de lasnaden cruciaal.

Het accent in de Alterra rapportage ligt gezien de vraagstelling geheel op de functionaliteit van de isolatievoorziening. De vraag doet zich echter voor in hoeverre een bovenafdichting met nog meer voorzieningen afgezet moet worden tegen de materiaalkwaliteit en eisen, die daaraan gesteld kunnen c.q. moeten worden. Als bij voorbeeld zeer mobiele componenten een groot lange termijn risico vertegenwoordigen is het de vraag of de kosten om voor die specifieke stroom tot een behandeling en reductie van het potentieel risico te komen op kunnen wegen tegen de meerkosten van het aanbrengen van ingewikkelder isolatievoorzieningen en de mogelijk beperkte levensduur van de voorziening ten opzichte van het lange termijn risico.

Uitloogproeven aan te storten afvalstoffen c.q. afvalstofmengsels kunnen inzicht verschaffen in werkelijk risicovolle verontreinigingen in het afvalaanbod. Het verdient aanbeveling hier nader onderzoek voor uit te voeren.

1. INLEIDING

Op verzoek van IPO is een second opinion opgesteld van het door Alterra en TNO uitgevoerde onderzoek naar de levensduur van bovenafdichtingen voor stortplaatsen (Boels en Breen, 2001). Met name de aannamen met betrekking tot mogelijk optredende zoutlasten, die een nadelige invloed op de minerale afdichting kunnen hebben zijn een punt van aandacht. Bij de evaluatie van isolatievoorzieningen voor stortplaatsen (niet van toepassing op stortplaatsen van voor 1996) kan een analogie worden getrokken met werken waarin b.v. AVI-slakken zijn toegepast. De daarover momenteel beschikbare kennis is gebruikt t.b.v. de evaluatie van het rapport van Alterra en TNO. Een belangrijk aspect bij de evaluatie van het Alterra rapport is de verwachte levensduur van minerale afdichtingen in relatie tot percolaatkwaliteit van niet-gevaarlijk afval op basis van beschikbare percolaat gegevens (van der Sloot et al, 1999) en gegevens van een mengsel van afvalstoffen, dat redelijk representatief geacht kan worden voor niet-gevaarlijk afval (van der Sloot et al, 2001) en tevens in relatie tot het uitlooggedrag AVI bodemas.

De volgende aspecten worden hierna nader belicht:

- de functionele levensduur van minerale afdichtingsmaterialen,
- de functionele levensduur van kunststoffen in de vloeistofdichte eindafwerking van stortplaatsen en
- de beschreven verwachte levensduur van de afdichtingsconstructie als geheel.

Daarnaast wordt aandacht besteed aan:

- de levensduur van Hydrostab voor zover vermeld in de Alterra rapportage
- het gebruik van kunststoffen in andere hoedanigheden dan als isolatiemateriaal (b.v. drainage matten).

2. ISOLATIE VERSUS PERCOLAATKWALITEITONTWIKKELING

Het accent in de rapportage van Alterra (Boels en Breen, 2001) ligt op de werking en levensduur van verschillende isolatievoorzieningen. De enige aspecten, waarin mogelijk de aard van het afval/ de bouwstof met de isolatie gekoppeld worden, zijn de potentieel nadelige effecten, die bestanddelen van afval, zoals zouten op de minerale afdichting en oplosmiddelen op kunststoffen, kunnen hebben. De beoordeling of de levensduur van een afdichting voldoende is kan echter niet los gezien worden van het lange termijn gedrag van het te storten materiaal of de te isoleren bouwstof. Hoewel een vorm van isolatie in veel gevallen onvermijdelijk zal zijn is er sinds enkele jaren een stroming op gang gekomen, waarbij de nadruk ligt op een zodanige behandeling, verwerking, selectie van afval dat een beter beheersbare percolaatkwaliteit op langere termijn gegarandeerd kan worden. Dat zou betekenen dat niet blindelings op een isolatie vertrouwd hoeft te worden, maar dat meer van de eigen capaciteiten van het afval gebruik gemaakt wordt en voorzover dat met mobiele componenten niet kan storten van afval met te hoge zoutlasten vermeden wordt. In het kader van het VVAV project Duurzaam Storten (Duurzaam Storten, 1999) zijn de eerste resultaten (van der Sloot et al, 2002) veelbelovend (opgemerkt wordt dat die ten tijde van het onderzoek van Alterra nog niet beschikbaar waren). Er is in elk geval geconstateerd dat een enkele (relatief kleine) afvalstroom de percolaatkwaliteit van een hele stortcel onevenredig sterk nadelig kan beïnvloeden, zodat eliminatie van een dergelijk stroom een belangrijke lange termijn kwaliteitsverbetering kan betekenen. Bovendien blijkt het uitlooggedrag van afvalstof mengsels, zowel van overwegend anorganische afvalstoffen als ook van meer op huisvuil gelijkend afval, behoorlijk consistent is en bovendien een aanzienlijk geringere spreiding vertoont dan de individuele afvalstoffen in het mengsel. Voor AVI bodemas dat als categorie II bouwstof wordt toegepast in ophogingen geldt dat het uitlooggedrag nog veel systematischer is, omdat het materiaal betreft dat door de bewerking (verbranding en opwerking tot bouwstof) een meer eenduidig uitloogkarakter krijgt. Dat neemt niet weg dat individuele partijen een redelijke bandbreedte in uitloging kunnen vertonen, die overigens belangrijk minder zal zijn dan de variaties in samenstelling, zoals in het recent uitgevoerde validatie-onderzoek van CEN TC 292 (van der Sloot et al, 2001) geconstateerd is (zie bijlage I).

Voor de beoordeling van de vereiste nazorg (kosten) is het van belang om vast te stellen of de levensduur van de isolatie slechts een fractie van de kritische uitloogperiode beslaat of dat als de isolatie begint te falen dat dan ook het leed min of meer geleden is. Een uitspraak daarover hangt samen met het lange-termijn uitlooggedrag van afvalstoffen/bouwstoffen. Aan de hand van beschikbare gegevens zal kort op dit aspect van beoordeling in worden gegaan. Eerst in relatie tot stort en dan in relatie secundaire bouwstoffen.

2.1 Voorzieningen stortplaatsen

Moderne stortplaatsen worden voorzien van een onderafdichting en een bovenafdichting om ongewenste emissies naar bodem en grondwater te voorkomen. Bij de beoordeling of een voorziening afdoende is om ongewenste milieueffecten te voorkomen is er een verband tussen de acceptatie en daarmee de kwaliteit van het afval, de isolatievoorzieningen (onder en boven) en de levensduur van deze voorzieningen. In het kader van het opstellen van criteria voor de acceptatie van afval in relatie tot het Europese Stortbesluit (concept/voorstel Annex II, 2002) zijn berekeningen uitgevoerd, waarbij de consequenties van het falen van de voorzieningen op de grondwaterkwaliteit zijn ingeschat. Daarbij is gebleken dat er slechts een beperkte extra verdunning van mobiele componenten verwacht mag worden (< factor 2 op 20 m buiten de stort in de richting van de grondwaterstroom) en dat de piekconcentratie door isolatie alleen in de tijd verschoven wordt (concept/voorstel Annex II, 2002). Uit de relatie tussen de vloeistof/vaste stof verhouding (L/S) en de tijd via de netto infiltratie, de storthoogte en de dichtheid (Hjelmar et al, 1990) kan inzicht verkregen worden op welke termijn de mobiele zouten uitgespoeld zullen zijn als overeenkomstig percolatieproeven wordt aangenomen dat na

een $L/S=1$ een zeer substantieel deel van de mobiele verbindingen is uitgespoeld. Die tijd kan worden afgezet tegen de gemiddelde geschatte levensduur van een isolatievoorziening, zodat daarmee een inschatting gemaakt kan worden hoe vaak de bovenafdekking vernieuwd zal moeten worden voor het risico voor de omgeving tot aanvaardbare proporties is teruggebracht.

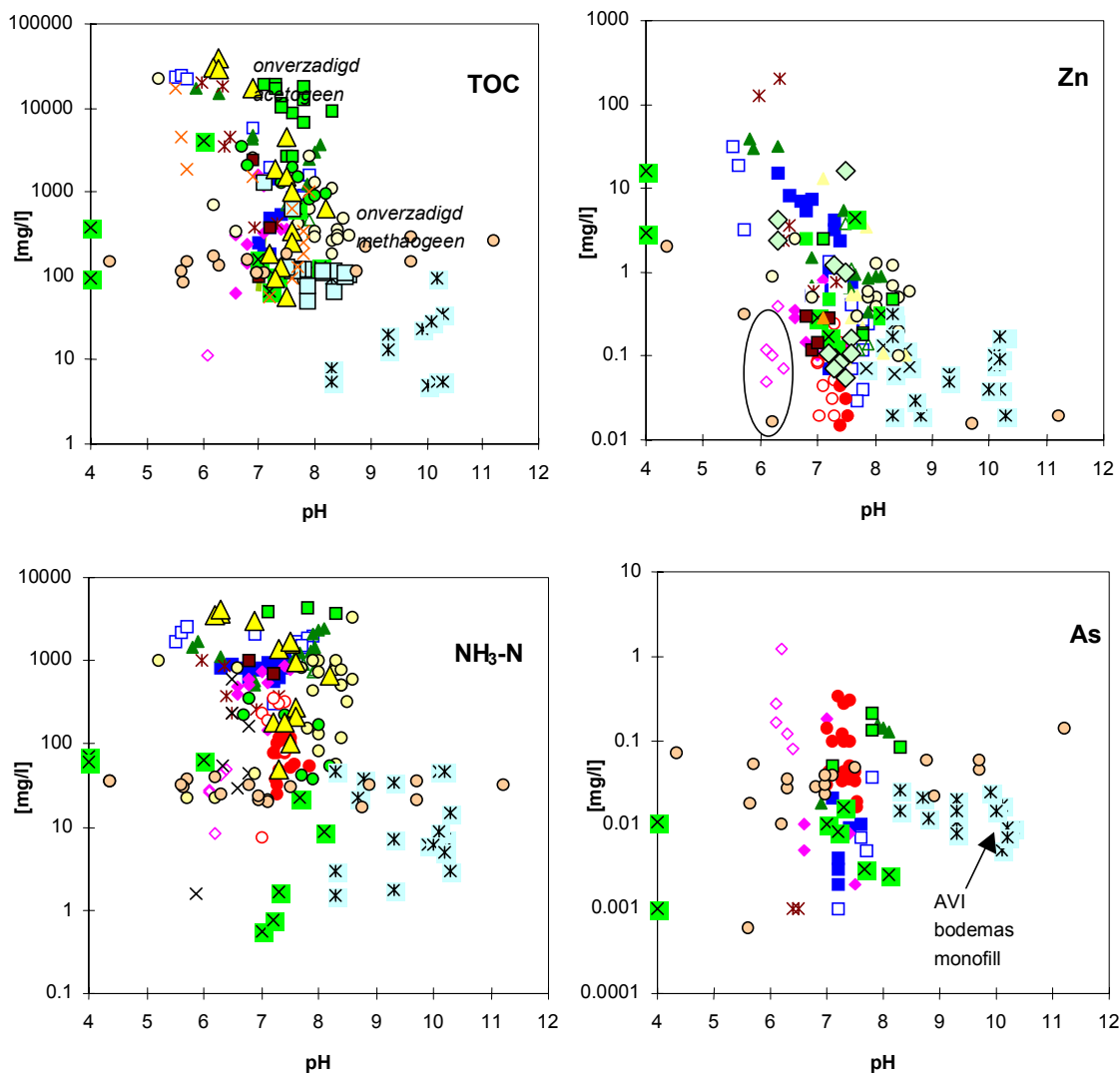
Conclusie

Uitloogproeven aan te storten afvalstoffen c.q. afvalstofmengsels kunnen inzicht verschaffen in werkelijk risicovolle contaminanten in het afvalaanbod. Het verdient aanbeveling hier nader onderzoek voor uit te voeren.

2.2 Lange termijn percolaatkwaliteit

Uit verzamelde gegevens van stortpercolaat (Ehrig, 1983; Flyhammer, 1995; Robinson, 1995; Rowe, 1995; Duurzaam Storten, 1999; van der Sloot et al, 1997) en het verloop van de uitloging van een afvalstoffenmengsel in de tijd (van der Sloot et al, 2001) kan worden afgeleid met welke range in percolaatkwaliteitsgegevens gerekend moet worden in moderne stortplaatsen. Voor een groot aantal parameters zijn gegevens verzameld. Hier worden alleen ter illustratie gegevens voor TOC, Zn, NH₃-N en As gegeven (figuur 1). De concentratieniveaus in percolaat zullen voor verschillende parameters beperkingen opleveren bij onverhoopte lozing op oppervlakte of grondwater. Diverse componenten worden in de afvalmatrix vastgelegd, maar mobiele componenten (zouten, water oplosbare organische micro's e.d) spoelen met het infiltratiewater uit.

Slechts in een beperkt aantal situaties is bruikbare informatie beschikbaar over het verloop van de percolaatkwaliteit in de tijd. Het is wel duidelijk dat een tijdsafhankelijke bronterm een beter beeld geeft van de kwaliteit dan de veel toegepaste constante bronterm beschrijvingen. Veranderingen in de tijd hebben te maken met afbraakprocessen van stortplaatsen met organisch afval. Er zijn gegevens van een aantal demonstratieprojecten (Ham, 1990; Bradshaw et al, 1993; Blakey et al, 1996; Reynolds and Blakey, 1992; van der Sloot et al, 2000; Oonk and Woelders, 1999; van der Sloot et al, 1997; van der Sloot et al, 1999; van der Sloot et al, 2001;), waarbij de percolaatkwaliteit nauwlettend gevolgd wordt. In veel andere gevallen zijn de gemeten parameters niet dekkend en ontbreken hoofdcomponenten (b.v. Na, K, Ca, Mg).

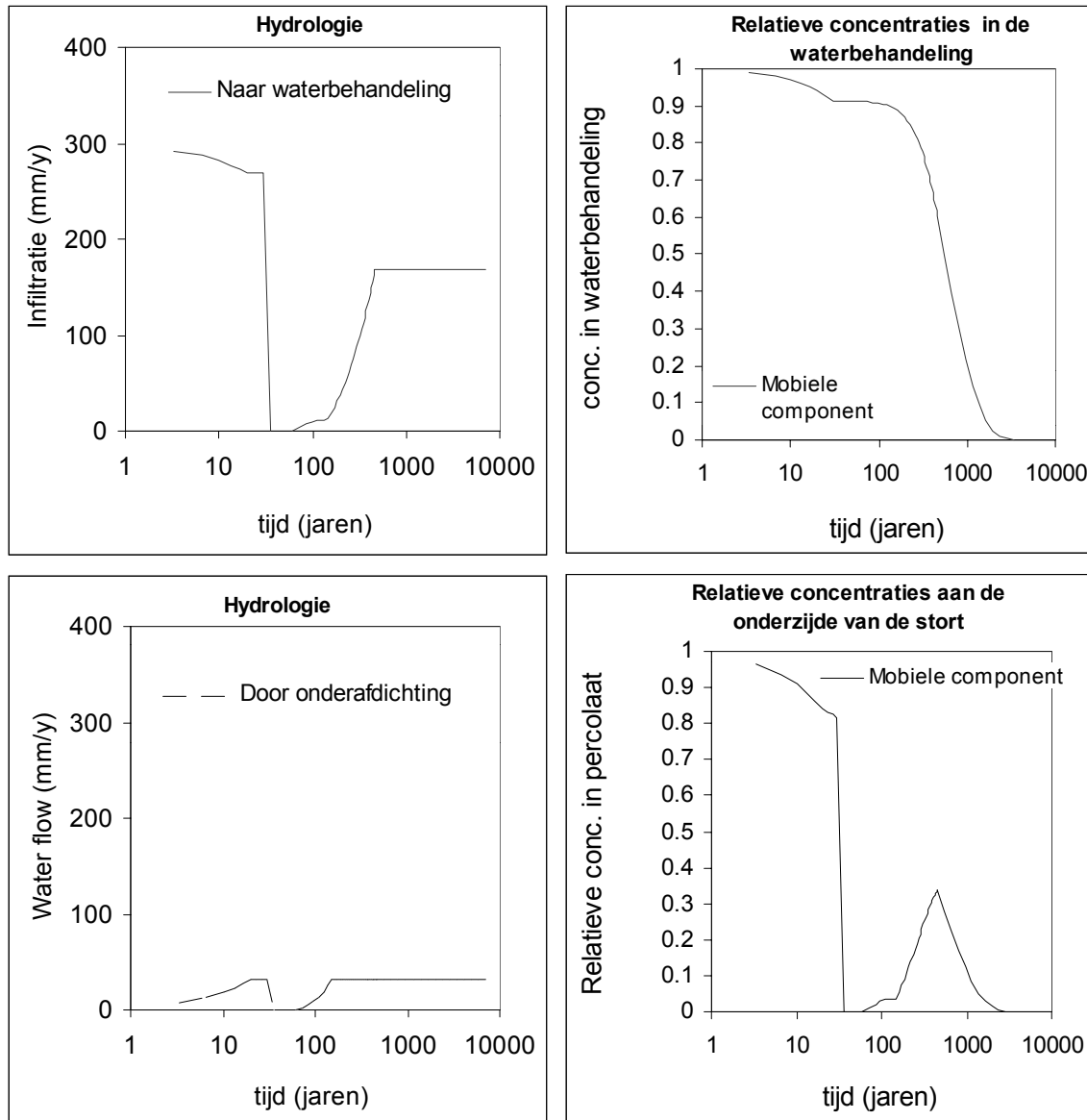


Figuur 1 *Percolaatconcentraties van diverse binnenlandse en buitenlandse stortplaatsen (Duurzaam Storten, 2002). Licht blauw ster: Avi bodemasstort (DK), licht groen vierkant: Bioreactor Essent; overige: nationale en internationale huisvuil stortplaatsen.*

2.3 Impact modellering stortplaats

In grondwaterkwaliteitsmodellen wordt meestal van een constante bron uit gegaan. Juist in relatie tot storten van afval blijken mobiele componenten bepalend te zijn voor de toelaatbaarheid van bepaalde afvalstoffen. De toepassingshoogte en de lengte van de toepassing c.q. de stort in de richting van de grondwaterstroming zijn daarbij belangrijke parameters. In de modelleringsactiviteiten ten behoeve van het opstellen van grenswaarden voor de acceptatie van afval is gebleken dat de mate van “piekverduunning” van mobiele componenten relatief beperkt is (EU landfill Directive concept/voorstel Annex II, 2002). In figuur 2 zijn resultaten van een dergelijke modellering weergegeven, waarbij met een onderafdichting en bovenafdekking gerekend is die in de tijd zijn functionaliteit verliest. Met name metalen, die vaak sterk geretardeerd worden spelen een ondergeschikte rol. Dit betekent dat het accent in de beoordeling van een afdichting komt te liggen op de relatie tussen de levensduur van de afdichting en de effecten van de afnemende bronterm. Dit aspect is bij de opstellers van het

rapport geen overweging geweest, maar is gezien de beoordeling of 50 – 100 jaar of enkele opeenvolgende cycli van 50-100 jaar voldoende bescherming bieden wel een cruciale vraag. Dit betekent dat de isolatie niet meer als een los onderdeel gezien wordt, maar als een integraal aspect van de totale beoordeling van een stort van een specifieke afvalklasse of een werk (b.v. als categorie II bouwstof). Voor een beoordeling van toelaatbaar of niet toelaatbare impact dient dit aspect meegenomen te worden.



Figuur 2 *Relatie tussen hydrologie en kwaliteit van percolaat naar de waterzuivering en percolaat dat naar de ondergrond lekt (Stort scenario (CD Rom, in prep. 2002) Annex II, 2002)*

2.4 Uitvoeringsaspecten Categorie II bouwstof

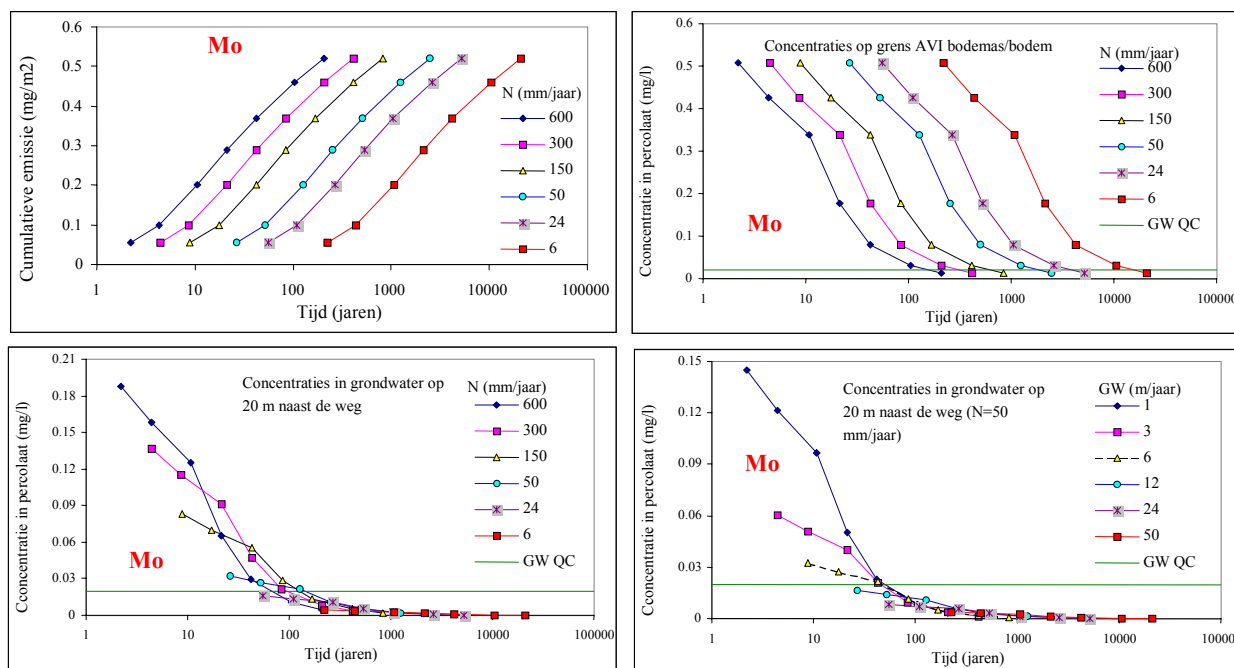
Bij de aanleg van de HSL (Hoge SnelheidsLijn) en vergelijkbare grote werken zijn veel grondstoffen nodig voor alle kunstwerken, zoals ophogingen, op- en afritten bij viaducten. De beoordeling van dergelijke grote werken vertoont qua aanpak en relevante factoren grote overeenkomsten met de beoordeling van een stortplaats. In dit kader is o.a. gekozen voor AVI bodemas dat als categorie 2 materiaal met extra voorzieningen in dit type toepassingen kan

worden toegepast. In het kader van de Uitvoeringsregeling Bouwstoffenbesluit (1999) dienen isolerende voorzieningen te worden aangebracht, die ervoor zorgen dat een minimale indringing van hemelwater op zal treden in het wegvak. Aan de onderzijde van de toepassingen worden eisen gesteld om te voorkomen dat de bodemas bij aanvang noch door later optredende zetting in direct contact met grondwater komt. Daartoe dient na restzetting minimaal 50 cm afstand te worden aangehouden tussen de gemiddeld hoogste grondwaterstand ter plaatse en de onderzijde van het AVI bodemas pakket. Deze maatregelen dienen ervoor te zorgen dat zich geen ongewenste verspreiding van verontreinigingen uit de AVI bodemas in de ondergrond en het grondwater voor zal doen. Deze functionaliteit hangt nauw samen met duurzaamheid en blijvende werking van de aangebrachte isolatievoorzieningen onder invloed van omgevingsfactoren. Alvorens in te gaan op duurzaamheidsaspecten van de isolerende voorzieningen, is het van belang in een breder kader iets meer te zeggen over de samenhang tussen de eigenschappen van AVI bodemas, de isolatie en de termijnen waarover de bescherming gehandhaafd dient te worden.

2.5 Lange termijn gedrag Categorie II bouwstof

Er is over AVI bodemas inmiddels zeer veel bekend ten aanzien van zowel fysische eigenschappen als mede ten aanzien van het (lange termijn) uitlooggedrag (IAWG, 1997; Meima, 1997; Comans et al, 1993; Dijkstra et al, 2002; Steketee, 2001; van der Sloot et al, 2001) (Zie bijlage II). De fysische eigenschappen maken toepassing van dit materiaal in ophogingen interessant. De milieueigenschappen van het materiaal zorgen momenteel voor enige beperkingen. Dit betreft voornamelijk het uitlooggedrag van mobiele elementen als Br, Cl, Mo, Cu (mobiele vorm = organisch-gebonden Cu) en incidenteel Sb. Veel andere elementen worden zodanig in de matrix gebonden dat ondanks verhoogde totaal samenstelling ten opzichte van de bodem er slechts een geringe uitloging optreedt (b.v. Pb, Zn). De uitloging is een complex fenomeen dat door verschillende factoren beïnvloed wordt (pH, tijd, L/S – vloeistof/vaste stof verhouding, DOC, redox). Veranderingen in de tijd kunnen voor een belangrijke verandering in het uitlooggedrag zorgen (van der Sloot et al, 2002b). Voor een aantal componenten geldt dat veranderingen in de tijd geen of weinig invloed hebben op de uitloogbaarheid. Dat geldt met name voor zeer mobiele componenten, die nauwelijks of geen interactie met de matrix vertonen. Voor dergelijke componenten geldt dat de cumulatieve emissie door verandering in materiaalgedrag niet of nauwelijks zal veranderen. Isolerende voorzieningen hebben in dat geval alleen de functie van het uitstellen van de uitspoeling. Dat kan geïllustreerd worden aan de emissie als functie van L/S (vloeistof-vaste stof verhouding in l/kg). In figuur 3 is het verloop van de cumulatieve emissie en van de concentratie in de tijd weergegeven als functie van de infiltratie in een ophoging van AVI bodemas (8 m hoog; data afkomstig van EU validatie project – van der Sloot et al, 2001). Tevens is op basis van een eenvoudig model, dat in het kader van de Annex II discussie (concept/voorstel Annex II, 2002) ontwikkeld is, de concentratie in grondwater geschat op 20 meter naast de weg.

Hieruit blijkt dat bij niet-afgedekte bodemas gedurende de eerste tientallen jaren een substantiële overschrijding van de streefwaarden voor grondwater op kan treden. Echter na infiltratiebeperkende maatregelen (hier resulterend in een lagere netto infiltratie) neemt die beïnvloeding sterk af. Zodra echter door kwaliteitsvermindering een toename van de infiltratie optreedt neemt ook de emissie weer navenant toe (zie figuur 2; concept/voorstel Annex II, 2002). De mate waarin dat tot overschrijding van grenswaarden kan leiden hangt mede samen met de afvoer, die via de reguliere waterzuivering (b.v. bij stortplaatsen) heeft plaats gevonden. Als er geen sprake is van waterzuivering zoals in geval van AVI bodemastoeppassing dan blijft een belangrijk deel van de mobiele componenten in poriewater hangen en zodra er weer verdere uitspoeling optreedt worden deze componenten meegenomen.



Figuur 3 *Cumulatieve emissie en concentratie van Mo uit AVI bodemas als functie van de tijd bij verschillende infiltratiesnelheden en een toepassingshoogte van 8 m. Concentraties in grondwater op 20 m naast de weg als functie van de infiltratie bij een GW stroomsnelheid van 6 m/jaar en als functie van de GW stroomsnelheid bij een infiltratie van 50 mm/jaar*

Dat dringt de vraag op hoe de isolatievoorziening en zijn functionaliteit zijn afgestemd op de lange termijn emissie uit de bodemas. Afhankelijk van de grondwaterstroming ter plaatse (voor de HSL ca. 4-8 m/jaar (Steketee, persoonlijke mededeling, 2002) neemt de impact van mobiele componenten in de tijd af door de mate van verdunning bij afnemende infiltratie. Voor niet afgedekt AVI bodemas kan aangenomen worden dat de infiltratie, waarmee in het BSB gerekend wordt (300 mm) waarschijnlijk een overschatting zal zijn.

Het uitlooggedrag van de kritische componenten uit AVI bodemas is opgenomen in bijlage II. De mobiele componenten zijn vrijwel volledig uitgespoeld na $L/S=1$. Afhankelijk van de infiltratie wordt $L/S=1$ voor een toepassingshoogte van 8 m bereikt na 21, 40, 255, 530 en 2000 jaar voor een infiltratie van respectievelijk 600, 300, 50, 24 en 6 mm/jaar. Als er na 50 tot 100 jaar nog een zeer belangrijke nalevering van mobiele componenten op zal treden na falen of deels falen van de afdichting is dat een belangrijk gegeven om mee te wegen in de beoordeling. Het bepaalt namelijk of de isolatievoorziening slechts een klein deel van de risico periode afdekt of dat na de eerste kritische uitspoelfase minder risico gelopen wordt. Het vaststellen op welk moment of op welke wijze besloten moet worden dat herstel nodig is, wordt in het Alterra rapport niet behandeld.

2.6 Vergelijking diverse stortregimes en grootschalige toepassing van secundaire materialen.

Er zijn op voorhand dus een aantal belangrijke factoren waarmee bij de beoordeling van isolatie voorzieningen (of dit nu stortlocaties dan wel bouwwerken zijn) rekening gehouden moet worden. Dat betreft pH, oplosmiddelen, zouten en temperatuur (tabel 1).

Tabel 1 *Vergelijking van verschillende stortsituaties/bouwactiviteiten*

Eigenschap	Oude stortplaatsen *		Niet-gevaarlijk afval	Gevaarlijk afval	AVI bodemas ophoging
	< 3 m hoog	> 3 m hoog			
pH	neutraal	Overwegend neutraal. Grote onzekerheid over effecten van lokaal hoge pH Vliegastort kan hoge pH hebben	Huisvuil stort overwegend neutraal Overige stortplaatsen: overwegend neutraal met uitzondering van RGRR opslag** en gestabiliseerd afval ***	Neiging tot zuur milieu	Initieel zeer hoge pH (> 12), neemt in de tijd af.
Zoutlast	Deel uitgespoeld.	Onbekend, deels uitgespoeld	Matig In RGRR zeer hoog	Hoog	Relatief hoog
Organische oplosmiddelen	Verdampt of uitgespoeld	Onbekend, deels uitgespoeld	Onbekend	Mogelijk hoog	Niet relevant
Temperatuur	Omgeving	Omgeving	Huisvuil stort: initieel hoog	Kan hoog zijn door interactie tussen afvalstoffen	Initieel licht verhoogd

* Stortplaatsen van voor 1996, overwegend huisvuilstorts.

** Vermeend droge opslag bestaat niet. Door opname van waterdamp zal “droog” Rookgasreinigingsresidu (RGRR) op lange termijn een verhoogde vochtigheid krijgen, waardoor aantasting van de verpakking op kan treden.

*** Onder gestabiliseerd afval wordt hier verstaan afval dat door bewerking met bindmiddelen in een minder schadelijk afval is omgezet.

3. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN MINERALE AFDICHTINGEN

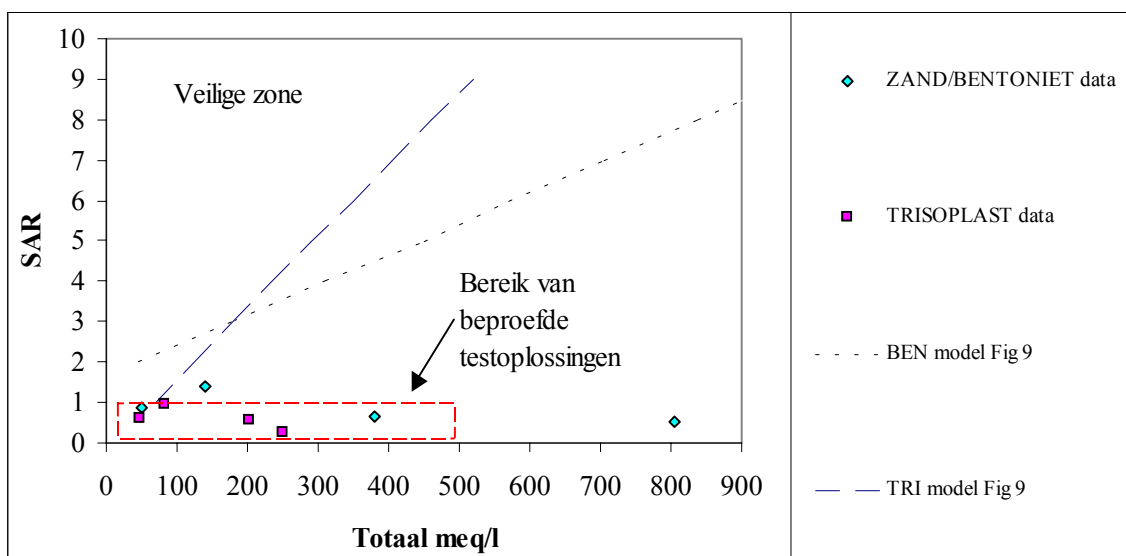
De werking van de minerale afdichtingen wordt bepaald door een aantal factoren, waarbij de zoutlast sterk de nadruk heeft gekregen. De gevolgen van sterk afwijkende pH op de werking van minerale afdichtingen wordt in de Alterra rapportage (Boels en Breen, 2001) slechts kort belicht, maar zal zeker in geval van bodemas, maar kan ook in relatie tot andere afvalstoffen van belang zijn. pH waarden van ca. 12 komen regelmatig voor in industriële afvalstoffen zelfs al hebben ze in een huisvuilstort alleen een lokaal effect. Met het meer anorganisch worden van te storten afval in de toekomst, wordt dit aspect nog belangrijker dan nu.

De in het Alterra rapport gevolgde aanpak om op basis van de aantasting van de minerale afdichting tot een uitspraak over de levensduur te komen kan als state of the art worden onderschreven. Daarbij moet worden bedacht dat effecten van zouten, pH en andere factoren additief kunnen zijn. Met de huidige stand van de kennis kunnen dergelijke gecombineerde effecten niet gekwantificeerd worden. De beoordeling van de gevolgde aanpak richt zich op de volgende deelaspecten:

- de afleiding van kritische gebieden ten aanzien van SAR en totaal samenstelling (meq/l) voor de verschillende minerale afdichtingen
- gegevens van mogelijk optredende zoutlasten in steunlaag en afval in contact met de minerale afdichting (diffusie van zouten door de steunlaag)
- andere factoren
- toepassing in bovenafdichtingen op stortplaatsen en BSB categorie 2 werken

3.1 Afleiding van Kritische Zoutlast

In het rapport wordt alleen over de steunlaag gesproken als bron van zouten. Er is aangenomen dat het te storten afval geen nadelige effecten op de minerale afdichting zal hebben. (Aanhangsel 2). Echter het afval zelf kan via de steunlaag ook van invloed zijn en een veel groter en langduriger bron van zouten betekenen. De keuze van de testvloeistoffen is niet aantoonbaar gebaseerd op percolaatgegevens. Bij de vergelijking van SAR waarden met de kritische zones per materiaal is hier aangenomen dat de steunlaag een vertraging oplevert, maar dat uiteindelijk de concentratie in het poriewater van de steunlaag gelijk wordt aan die in het afval. Op basis van een beperkt aantal metingen per minerale afdichting is een bereik gedefinieerd in termen van SAR (Sodium Activity ratio) waarde (Bolt en Bruggenwert, 1978) en totaal samenstelling (meq/l), waar geen nadelige effecten op de werking van de afdichting te verwachten zijn. Het bereik van de concentraties in testoplossingen strookt niet met het bereik van SAR en totaalconcentratie waarden waarover uitspraken worden gedaan (figuur 4). Er zijn geen duplo metingen bij enige combinatie van SAR en totaal concentratie gedaan, waaruit zou kunnen worden afgeleid hoe betrouwbaar individuele waarnemingen zijn, welke variatie in deelmonsters van dezelfde minerale afdichting zitten, e.d.



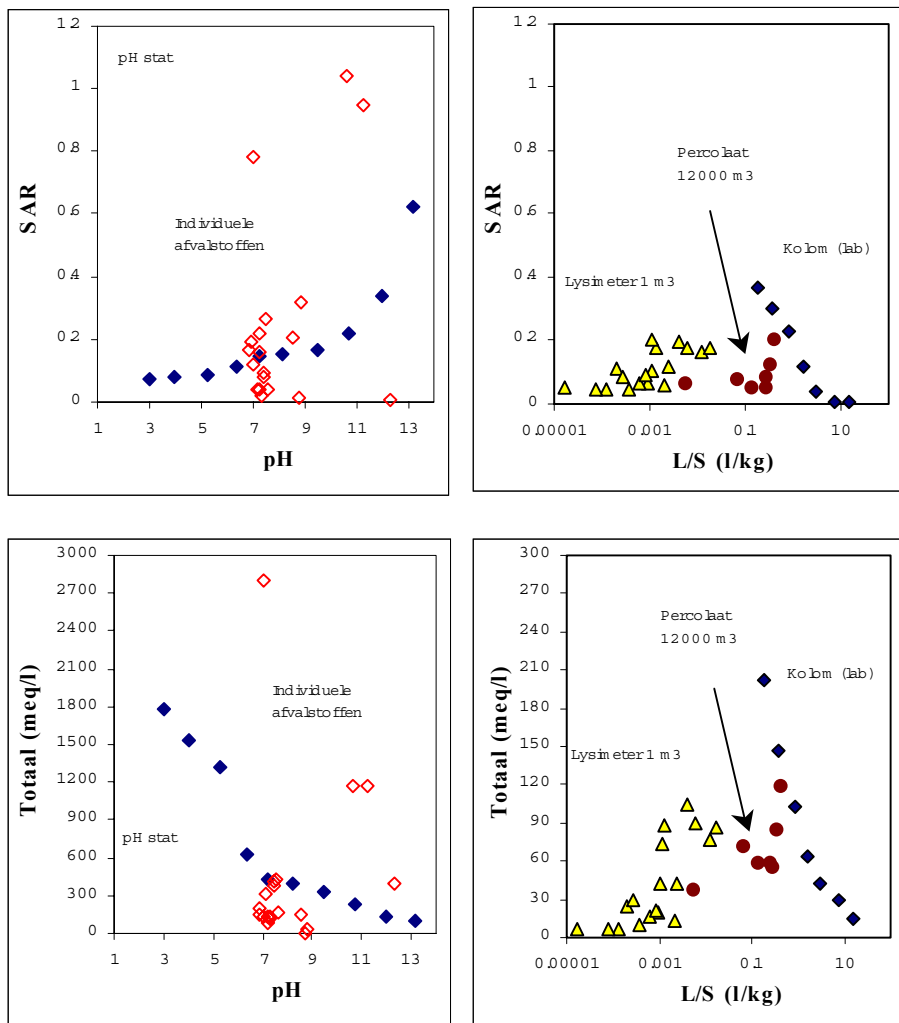
Figuur 4 Afleiding van kritische zones en toegepaste meetbereik testoplossingen

Hierna wordt ingegaan op SAR en totaal concentraties zoals die zich in de praktijk voor kunnen doen om vast te stellen hoe kritisch de keuze van zoutconcentraties is.

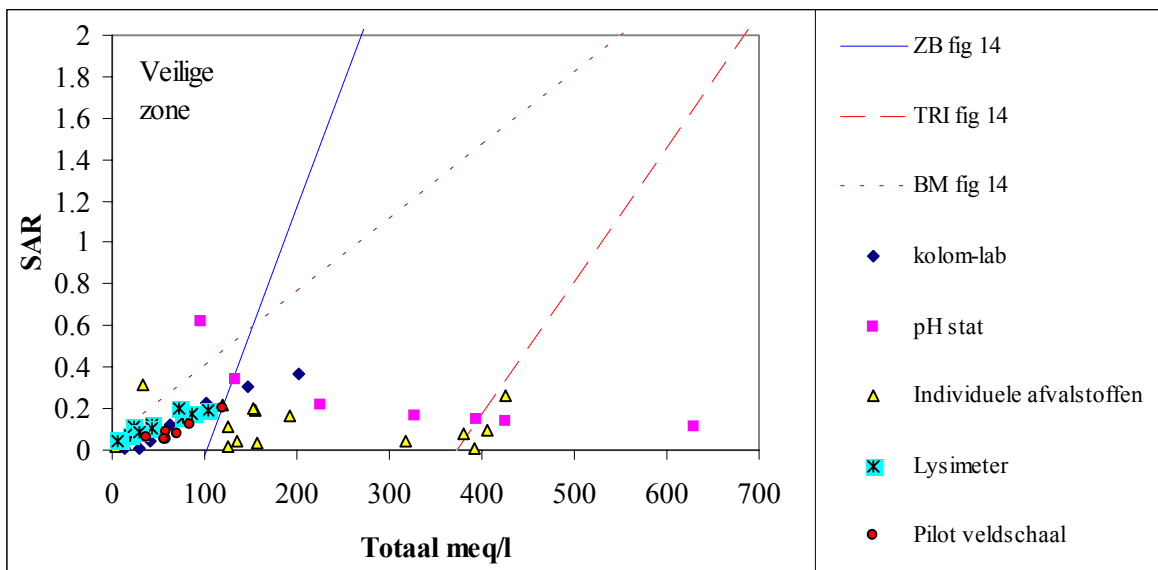
3.2 Concentraties kationen in stortpercolaat

Uit de eerder genoemde dataverzameling zijn ook gegevens van Na, K, Mg en Ca beschikbaar (Duurzaam Storten, 2002; van der Sloot et al, 1997). In figuur 5 zijn de gegevens grafisch weergegeven voor een aantal verschillende stortplaatsen voor huishoudelijk en industrieel afval. Tevens zijn gegevens van de bioreactor (Woelders et al, 1997, van der Sloot et al, 2000), van de Nauerna pilot Duurzaam Storten (van der Sloot et al, 2001) en gegevens van een AVI bodemas monodeponie (Hjelmar, 1996; Hjelmar, 1991; Meima, 1997) meegenomen.

Voor afvalstoffen zijn minder volledige datasets beschikbaar en een groot probleem is dat door de parameter keuze in de regelgeving er zelden hoofdcomponenten gemeten worden in afvalstoffen. In het kader van het project Duurzaam Storten (Duurzaam Storten, 2002) wordt dergelijke informatie wel verzameld omdat zonder deze componenten geen modellering mogelijk is. Verder is in het kader van dit project een pilot uitgevoerd, waarbij op drie schaalniveaus (kolomproef lab - 500 gram, lysimeter – 1.5 m³ en pilot proef on-site – 12,000 m³) metingen worden uitgevoerd. Allereerst blijkt dat het afvalstoffenmengsel dat voor Nauerna is samengesteld een zeer consistent beeld oplevert qua uitlooggedrag van de mix. Bovendien blijkt dat de samenhang tussen de meting op de drie schaalniveaus veelbelovend is (van der Sloot et al, 2002). De resultaten van Ca, Mg, Na en K metingen aan percolaat uit de kolomproef, de lysimeter en de veldpilot zijn zodanig uitgewerkt, dat SAR en totaal concentratie of activiteit (meq/l) verkregen kan worden. In figuur 6 zijn de resultaten weergegeven. In afvalstoffen komen zeer lage SAR waarden voor bij niet al te lage totaal concentraties. In te storten afval komt een grote variatie voor in zoutlast. Het zal daarom van belang zijn om zeker te stellen dat het laatst gestorte afval, waarmee een minerale afdichting in contact kan komen of indirect in contact kan komen een niet te hoge zoutlast heeft (Aanbeveling richting stortplaats beheerders). Het valt op dat alle waarnemingen aan afvalstoffen tot SAR waarden leiden, die vaak substantieel lager zijn dan 1 en dat bij verschillende totaal concentratie niveaus. Dat minerale afdichtingen potentieel in de gevaren zone zitten is hiermee wel vast gesteld mede gezien de metingen aan een representatief afvalstoffenmengsel voor Nauerna (grondreinigingsresidu, baggerspecie, verontreinigde grond). Op basis van de extrapolaties (zie 3.1.1) is echter geen eenduidige conclusie te trekken omdat de onzekerheden in de extrapolaties niet duidelijk zijn uitgewerkt in de rapportage.

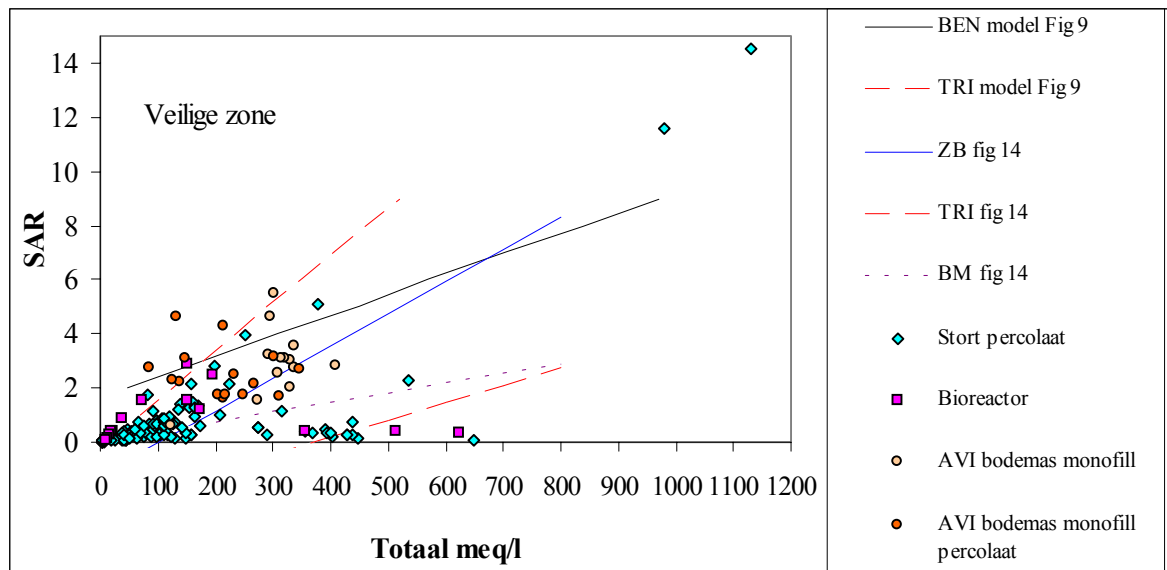


Figuur 5 SAR en totaal concentratie (meq/l) voor individuele afvalstoffen en een mengsel van afvalstoffen (Project Nauerna, Duurzaam Storten, 2002)



Figuur 6 Laboratorium en veld data voor een representatief afvalmengsel in relatie tot de in het Alterra rapport opgevoerde kritische zones op basis van SAR en totaal concentratie (Pilot Nauerna, 2002)

In figuur 7 zijn resultaten van SAR en totaal concentratie gegeven voor stortpercolaat, dat redelijk representatief geacht kan worden voor poriewater (Duurzaam Storten, 2001), metingen aan de sterk organisch afvalhoudende Bioreactor pilot (van der Sloot et al, 2000) en metingen aan percolaat en poriewater in een AVI bodemas monofill (Hjelmar, 1996; Meima, 1997).



Figuur 7 *Vergelijking van SAR en Totaal concentratie waarden berekend voor stort percolaat, bioreactor percolaat en AVI bodemas monofill met de door Boels aangegeven potentieel kritische zones voor de drie typen isolatievoorzieningen op basis van kleimineralen*

3.3 Concentraties cationen in poriewater AVI bodemas

In relatie tot de werking van minerale afdichtingen en de concentraties waarmee in het eerst uittredende poriewater gerekend moet worden in geval van AVI bodemas toepassingen kan een schatting worden verkregen uit de eerste fractie van de kolomproef. In tabel 2 zijn de resultaten van een reeks metingen (Meima, 1997; van der Sloot et al, 2000, van der Sloot et al, 2001; Dijkstra et al, 2002) verzameld. Deze informatie is relevant voor de toepassing van AVI bodemas in ophogingen en bij gebruik van AVI bodemas als steunlaag.

Tabel 2 *Schatting poriewater samenstelling uit de 1e fractie van de kolomproef NEN 7343(1995).*

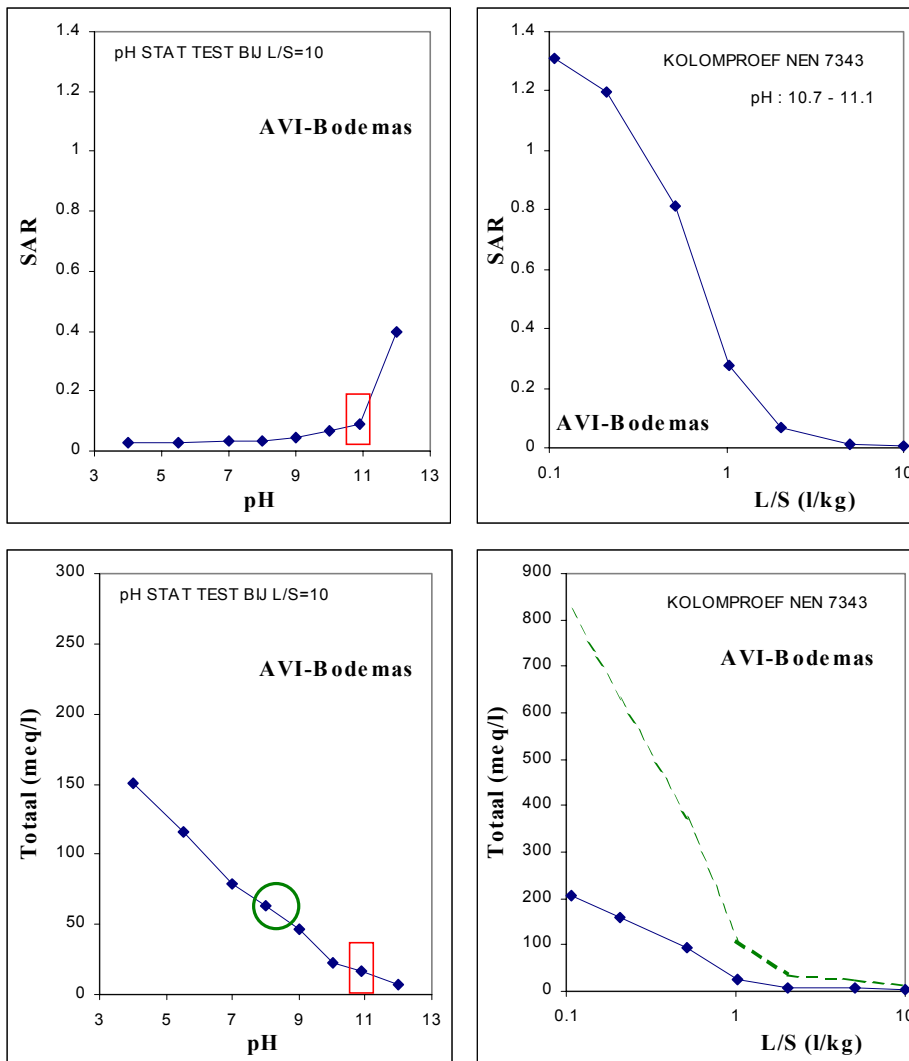
	Poriewater schatting (mg/l)				Poriewater schatting (mg/l)		
	Gemiddeld	Min	Max		Gemiddeld	Min	Max
Al	38.5	0.013	294	Mo	0.7	0.297	1.12
As	0.07	0.01	0.11	Na	3607	354	6163
B	0.3	0.021	1.9	Ni	0.04	0.017	0.062
Ba	0.4	0.090	0.5	P	0.8	0.331	2.357
Br	6.9	1.824	10.9	Pb	0.7	0.0000	1.08
Ca	972	31.6	1960	S	443	104	1148
Cl	7470	5037	10808	Sb	0.02	0.005	0.053
Cd	0.006	0.000	0.010	Se	0.01	0.000	0.029
Co	0.006	0.000	0.010	Si	46.2	21.2	75.4
Cr	0.09	0.006	0.3	Sn	0.007	0.004	0.012
Cu	5.9	1.864	11.7	SO4	727	311	1216
F	0.09	0.019	0.2	Sr	6.8	0.714	11.288
Fe	0.02	0.004	0.1	Ti	0.006	0.0000	0.013
K	1039	54	1794	TIC	31.2	14.2	48.1
Li	0.1	0.051	0.2	TOC	561	523	599
Mg	6.1	0.038	77.0	V	0.007	0.000	0.017
Mn	0.03	0.004	0.08	Zn	3.3	0.022	9.2
pH	9.9	8.3	12.5	SAR	1.00	0.55	1.18

De in het Alterra rapport (Boels en Breen, 2001) opgevoerde SAR waarde kan voor AVI bodemas poriewater variëren van 0.5 – 1.2. De corresponderende totaal concentraties in poriewater variëren dan van 18 – 420 meq/l. In het geval van AVI bodemas is het mogelijk van belang ook K mee te nemen, omdat K ook significant bijdraagt aan de monovalente ionen. Dit verhoogt de SAR waarde met ongeveer 20% (SAR_{Na+K} : 0.6 – 1.4). Deze waarden gelden voor verzadigde kolomcondities. Onder onverzadigde condities kunnen mogelijk nog iets hogere concentraties optreden. In alle kolomproeven is van relatief verse bodemas uitgegaan. Op termijn zal door carbonatatie de pH afnemen. Met dalende pH nemen de Ca en Mg uitloging toe. Dat betekent dat de poriewater concentratie van deze twee waardige ionen in de tijd toe zou kunnen nemen. Tegelijkertijd zullen Na en K relatief makkelijk uitspoelen, waardoor de SAR waarde door beide effecten de neiging heeft af te nemen. In tabel 3 zijn condities opgenomen, zoals die in laboratorium experimenten en veldmetingen (van der Sloot et al, 2000; van der Sloot et al 2001; Meima, 1997; Dijkstra et al, 2002); zijn bepaald. De metingen van Zevenbergen (1994) aan bodemas hebben vooral betrekking op relatief dunne lagen bodemas, die langdurig aan intensief contact met de atmosfeer hebben blootgestaan en daarom minder representatief geacht kunnen worden voor grootschalige toepassingssituaties.

Tabel 3 *Laboratorium- en veldmetingen van een- en tweewaardige zouten in AVI bodemas*

Element	Gemiddeld	Laag	Hoog	Verouderd	Verouderd,uitgespoeld
	eq/l	eq/l	eq/l	eq/l	eq/l
Na	0.157	0.015	0.268	0.022	0.004
K	0.026	0.001	0.045	0.001	0.001
Ca	0.049	0.002	0.098	0.014	0.014
Mg	0.0005	3E-06	0.0059	0.0058	0.0039
SAR	1.00	0.55	1.18	0.16	0.03
SAR_{Na+K}	1.17	0.60	1.37	0.16	0.04
Totaal meq/l	232	18	417	43	23

Het blijkt dat de SAR waarde na veroudering en gedeeltelijke uitspoeling de neiging heeft verder af te nemen, omdat de eenwaardige zouten uitspoelen, terwijl twee waardige ionen meer oplosbaarheids-gecontroleerd uitlogen en daarom langer op een hoger concentratie niveau kunnen blijven bestaan. Daarnaast zal door neutralisatie een relatieve concentratie toename van tweewaardige ionen optreden. In figuur 8 zijn resultaten van kolom en pH stat proeven (uitlooproef, waarbij het materiaal door pH sturing op een constante waarde wordt gehouden gedurende de proef om gevolgen van pH verandering c.q. speciatie te kunnen kwantificeren) aan AVI bodemas gegeven op grond waarvan duidelijk blijkt dat de hoge initiële pH consequenties heeft voor de SAR waarde, maar dat met name neutralisatie ook een belangrijke verschuiving van SAR en totaal concentratie (meq/l) met zich mee brengt. Gebruik van AVI bodemas als steunlaag leidt tot het direct optreden van beïnvloeding van de afdichting mede door de hoge pH.



Figuur 8 SAR waarden afgeleid uit kolom en pH stat proef resultaten Vierkant: pH range voor kolomproef. Cirkel pH bereik na neutralisatie. Onderbroken lijn: voorspelde totaal concentratie of activiteit (Ca+Mg+Na+K) voor neutrale pH condities in AVI bodemas

3.3.1 Oplosbaarheid (2-waardige ionen) versus uitspoeling (Na en K)

Op basis van onderzoek naar oplosbaarheids controlerende fasen in AVI bodemas kan worden aangegeven welke chemische fasen relevant zijn voor de Ca en Mg concentraties in verse

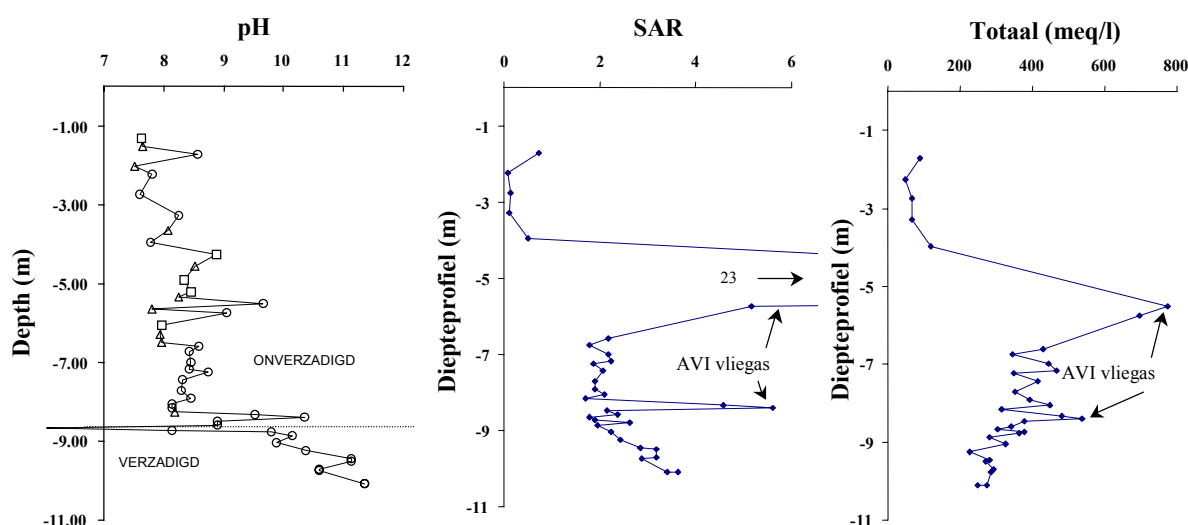
bodemas en in verweerde bodemas. In verse bodemas zijn portlandiet en gips van belang. Na veroudering zijn ettringiet en gips belangrijk. In verweerde en deels uitgeloopte bodemas wordt in een tussenstadium CaBaSO₄ en uiteindelijk calciëet en daaraan verwante fasen relevant (Meima, 1997). In alkalische as is bruciet een belangrijke controlerende fase voor Mg. Naarmate de pH daalt worden Mg carbonaten belangrijk. De oplosbaarheid daarvan is relatief hoog, hetgeen betekent dat na neutralisatie aanzienlijk hogere Mg concentraties voorkomen dan in verse bodemas gemeten worden.

Voor de SAR waarde is het van belang in welke mate er al uitspoeling van Na is opgetreden bij eventueel gelijkblijvende of zelfs toenemende Ca en Mg niveaus. De isolatie zelf zorgt voor een geringe uitloging, waardoor mobiele componenten als Na en K bij een naar behoren functionerende afdichting nauwelijks zullen zijn uitgespoeld. Indien de isolatie aan de eisen voldoet zal ook de neutralisatie traag verlopen. Het is op dit moment onduidelijk hoe lang het duurt eer een AVI bodemaspakket van 5 – 10 m hoogte volledig geneutraliseerd is door atmosferisch koolzuur, koolzuur afkomstig uit omringende bodemlucht (verhoogd koolzuur gehalte ten opzichte van de atmosfeer) of biologische afbraak van rest onverbrand koolstof. In RW 15 is binnenin het pakket weinig verandering in pH geconstateerd (pH ~ 10.5; Steketeë, 2001; van der Sloot et al, 2002). Meer naar de buitenzijde van het pakket is duidelijk verder gaande neutralisatie gevonden (pH < 10). In veldmetingen in Denemarken zijn Ca, Na, K en Mg gemeten (wordt overigens niet veel gedaan, omdat de elementen niet milieu relevant zijn). Ze zijn echter van wezenlijk belang voor de chemie van bodemas in een hoogte profiel afkomstig van een boring in een oude AVI bodemas deponie. Uit deze metingen zijn ook SAR waarden te herleiden, die relevant zijn voor de beoordeling van de werking van minerale afdichtingen, omdat dit metingen betreft na een periode van blootstelling van 20 jaar (Tabel 4, Meima, 1997).

Tabel 4 *SAR waarden berekend voor langdurig aan externe condities blootgestelde bodemas*

Locatie	SAR
Geneutraliseerde, onverzadigde en uitgespoelde zone	0.17 – 0.7
Geneutraliseerde en onverzadigde zone	1.7 – 2.2
Verzadigde zone met een nog alkalisch milieu	2 – 3.6

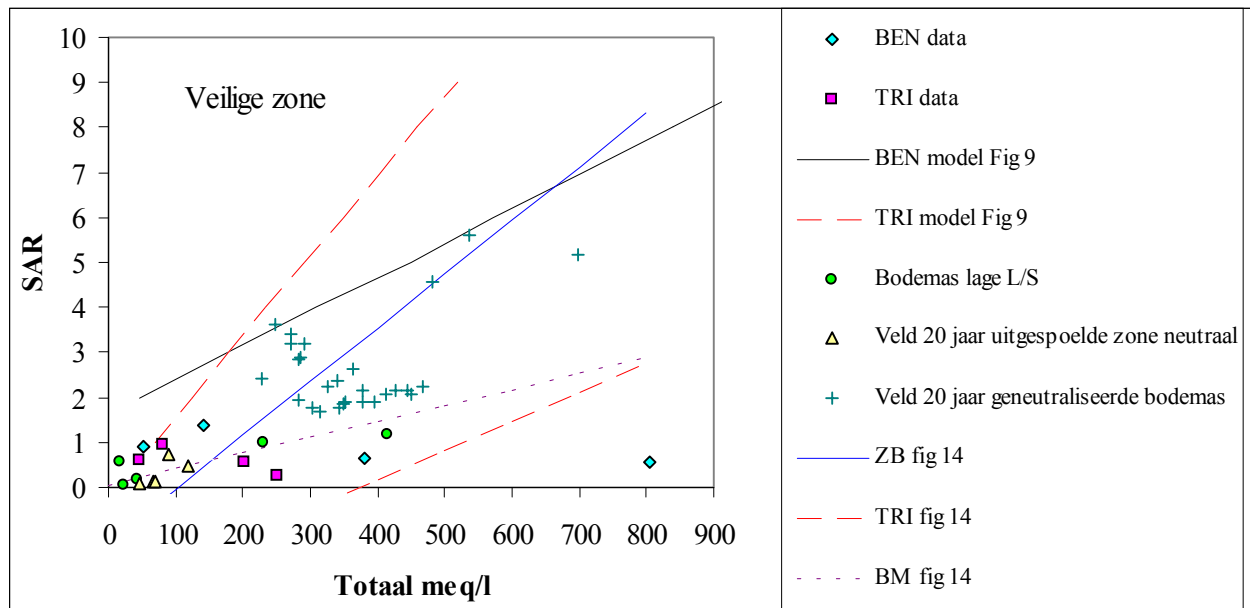
In figuur 9 zijn de hoogte profielen van de afgeleide SAR waarden in relatie tot pH gegeven voor de Deense stortlocatie.



Figuur 9 SAR waarden berekend voor 20 jaar in de praktijk aan uitloging en neutralisatie blootgestelde bodemas (naar Meima, 1997).

In figuur 10 zijn de data, die ten grondslag liggen aan de, in het Alterra rapport, theoretisch afgeleide gevoeligheid van minerale afdichtingen voor zouten, en de afgeleide relaties weergegeven. Tevens zijn in de grafiek data ingetekend van een groot aantal lab en veldmetingen aan AVI bodemas. Daaruit blijkt dat in vrijwel alle gevallen de data punten in de kritische zone in relatie tot de duurzaamheid van de minerale afdichting liggen.

De feitelijke meetwaarden, waarop deze berekende lijnen gebaseerd zijn vallen in een heel nauw meetbereik, terwijl uitspraken worden gedaan over SAR waarden tot 7 à 8 maal de gemeten waarden. De verdere extrapolatie, waarbij de “ruimte” die een afdichtingsmateriaal ten aanzien van K-waarde is ingebouwd (laagdikten zijn vaak om andere reden vastgesteld) wordt gebruikt om de tolerantie tegen zout beïnvloeding te kwantificeren, bouwt voort op de beperkte dataset waarmee de relaties tussen K/K_{ref} , SAR en Totaal concentratie zijn bepaald. Die “ruimte is ook bedoeld voor andere onzekerheden als droog/krimp, andere chemische degradatiemechanismen, zetting en vorstschade. In figuur 10 zijn de lijnen, die op basis van figuur 9 (Alterra rapport) in combinatie met de gekozen doorlatendheid om aan het Stortbesluit te voldoen zijn afgeleid en weergegeven in figuur 14 (van het Alterra rapport), ingetekend.



Figuur 10 *Laboratorium en veld data voor bodemas in relatie tot de in het Alterra rapport opgevoerde kritische zones op basis van SAR en totaal concentratie.*

Conclusie

Op grond van bovenstaande uit onderzoek aan AVI-bodemas ontleende resultaten moet het volgende worden geconcludeerd m.b.t. de rapportage van Alterra.

Gegeven de beperkte dataset, waarop de tolerantielijnen zijn gebaseerd kunnen niet de vergaande conclusies in het Alterra rapport gebaseerd worden die uit deze data naar voren zou komen namelijk dat trisoplast het enige materiaal is dat aan de eisen kan voldoen. Daarvoor zijn de onzekerheden in de schattingen van de grootte van de effecten te groot. (zie ook de spreiding in de metingen in figuur 10 van het Alterra rapport; Boels en Breen, 2001). Bovendien is geen publieke informatie beschikbaar over de duurzaamheid van de polymeer, die Trisoplast zijn bijzondere eigenschappen geeft.

Dat minerale afdichtingen potentieel in de gevaren zone zitten is wel vast gesteld mede gezien de metingen aan AVI bodemas in verschillende hoedanigheden. Het aspect van reële meetwaarden voor afvalstoffen is duidelijk onderbelicht in het Alterra rapport (Boels en Breen, 2001).

3.4 Diffusiesnelheid door de steunlaag

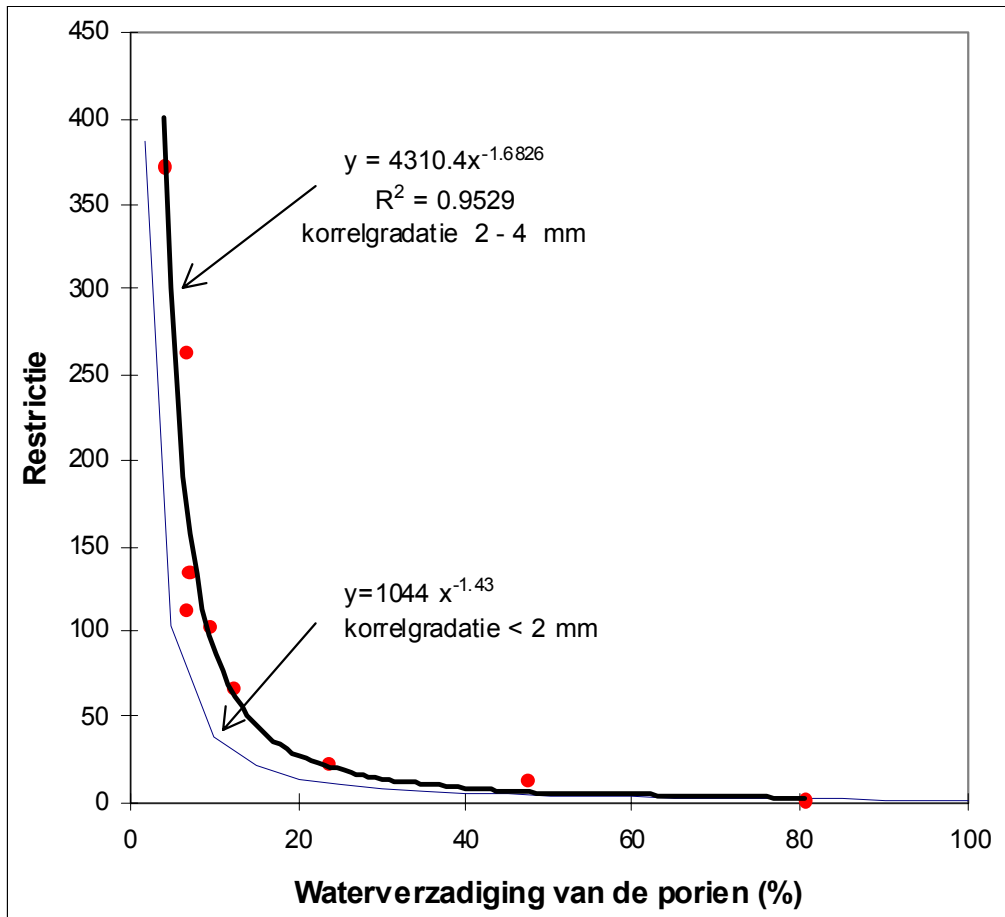
Hoewel in het Alterra rapport verhoogde zoutconcentraties zijn aangebracht in de steunlaag om de functionaliteit van de afdichting te toetsen, is met de selectie van een schone “steunlaag” het risico van aantasting niet opgelost, omdat door diffusie van ionen door de steunlaag vanuit het onderliggend afval op den duur dezelfde concentratie in poriewater (percolaat) als in de steunlaag zal ontstaan. Op basis van enkele aannamen kan hierover wel een schatting gegeven worden, aangezien in het kader van ander onderzoek metingen zijn uitgevoerd bij verschillende waterverzadigingsgraad (Schaefer et al, 1995).

3.4.1 Verzadigd

Onder verzadigde condities zal bij een steunlaag dikte van 30 cm de concentratie van mobiele zouten als Na, K, Ca en Mg op het grensvlak steunlaag - isolatie materiaal in ca. 2 jaar ongeveer gelijk zijn aan die in het poriewater van het afval. Daarbij is uitgegaan van een effectieve diffusiecoëfficiënt van ca. $3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ voor alle mobiele componenten.

3.4.2 Onverzadigd

Onder onverzadigde condities komt er een vertragingsterm bij, die een functie is van de verzadigingsgraad. In figuur 11 is dit verband voor zand met verschillende mate van waterverzadiging gegeven. Het is op dit moment onduidelijk met welk percentage redelijkerwijs gerekend moet worden. Het is duidelijk dat er geen sprake is van verzadiging. De verschillen in het bereik van 5 –25 % relatieve verzadiging zijn zo groot dat dit het verschil tussen wel of geen probleem kan uitmaken.



Figuur 11 *Relatie tussen aanvullende diffusierestrictie bij verschillende mate van waterverzadiging van het transport medium (hier zand)*

Op basis van deze gegevens zou het tijdstip, waarop de concentratie op het grensvlak steunlaag - isolatie materiaal ongeveer gelijk zijn aan die in het poriewater van het afval, voor een waterverzadiging van 5, 10, 15, 20 en 25 % na resp. 300, 100, 50, 35 en 27 jaar bereikt worden. Het is duidelijk dat een lage waterverzadigingsgraad een beschermend effect heeft op de afdichting. Bij zeer lage waterverzadiging kan echter ook een uitdroog effect optreden met zeer nadelige gevolgen voor de werking van minerale afdichtingen (Heibrock,1997). Praktijk informatie over de mate van waterverzadiging in de steunlaag is gewenst. Studies als van Melchior et al, (1993), Johnson et al, 1998, en Johnson et al, 1999 bieden in dit opzicht bruikbare informatie. Dit betekent dat vervolgonderzoek gewenst is.

3.5 Andere invloedsfactoren

De uitspraak dat verse AVI bodemas een pH van 8.0 (Tabel 10, Alterra rapport) heeft is ver bezijden de waarheid. Verse bodemas kan in poriewater pH waarden van 12 bereiken. De effecten van extreem hoge pH op de werking van de minerale afdichting worden niet genoemd, maar zijn niet te verwaarlozen. Maatregelen om contact tussen bodemas en de minerale

afdichting te vermijden c.q. te beperken bieden in dit opzicht mogelijkheden. Het voorstel om Na_2CO_3 te gebruiken als toeslag op het grensvlak zal wel enige tijd als vanger voor Ca functioneren, maar als er sprake is van zelfs maar geringe percolatie zal met name Na_2CO_3 makkelijk uitspoelen en daarmee onwerkzaam worden op de locatie waar het gewenst is. Dit laatste is in lijn met de conclusie van Alterra.

4. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN HYDROSTAB

In de Alterra rapportage (Boels en Breen, 2001) wordt alleen op pagina 64 een uitspraak gedaan over de werking van Hydrostab. De effecten van hoge pH, die de waterglas kunnen aantasten of andere factoren, die nadelig kunnen werken op dit materiaal zijn nauwelijks onderzocht. Er wordt verwezen naar 10 jaar veldgegevens, die moeilijk te verifiëren zijn. Verder wordt ingegaan op het effect van uitdroging, die wel zijn onderbouwd met praktijkmetingen. Hoe het is gesteld met doorvoeringen e.d. die bij andere vormen van isolatie ruimschoots aan de orde komen is niet duidelijk. De mate waarin de lange termijn aspecten van Hydrostab behandeld worden c.q. zijn onderzocht ten opzichte van minerale afdichtingen op kleibasis en kunststofafdichtingen is niet in proportie, als dit materiaal als een volwaardig alternatief wordt gezien.

5. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN KUNSTSTOFFEN ALS ISOLATIEMATERIAAL

5.1 Kunststoffolies

De levensduur van kunststofmaterialen is van een andere orde dan die van minerale afdichtingen. Er is in relatie tot de beoogde levensduur nog geen lange termijn ervaring met kunststoffen, die door analogie met natuurlijke kleivoorkomens enigszins aanwezig is voor minerale afdichtingen op kleibasis. Door Düllmann and Eisele (1993) zijn na 10 jaar inspecties uitgevoerd, waarbij diverse problemen zijn gesignaleerd, hetgeen heeft geleid tot aanbevelingen voor een meer stringente verwerking en kwaliteitscontrole. Recenter studies (Barlaz, 2000) gaan uit van een zeker aantal imperfecties (lekken) per ha, die als basis dienen voor schattingen van de bodem beïnvloeding. Er is veel onderzoek gedaan aan kunststofafdichtingen, hetgeen duidelijk beschreven wordt in de rapportage. Het is ook duidelijk dat het accent op de lassen komt te liggen, omdat dat de meest kwetsbare punten zijn in het systeem.

De daadwerkelijke metingen (Tabel 8.2) aan spanningscorrosie en langzame scheurgroei zoals die gegeven worden in het TNO aandeel met betrekking tot verschillende materialen en verschillende onderdelen van het systeem (folie en lassen) geven op basis van test resultaten een levensduur van meer dan 3 (las) – 30 jaar (folie). De vertaling van deze meetresultaten naar een levensduur onder praktijkcondities, die op basis van “expert opinion” op 100 jaar is gesteld (Deel 2 - Aanhangsel 2) doet de vraag rijzen hoe de functionaliteit van de lassen, die het meest kwetsbare onderdeel van de voorziening vormen, in deze vertaalslag figureren. In de rapportage zelf worden ten aanzien van de lasverbindingen de nodige voorbehouden gemaakt. Vooral in het licht van het relatieve verschil in gemeten levensduur van lassen ten opzichte van die van de grote folie oppervlakken (factor 10 verschil), is de vraag hoe de levensduur van de kunststofafdichting als geheel zonder meer op 100 jaar gesteld kan worden. De extrapolatie naar gemiddeld langer dan 100 jaar zou op onderdelen van de folie (grote ononderbroken vlakken) juist kunnen zijn, maar het gaat om de functionaliteit als geheel.

De aanwezigheid van stoffen in het afval, die een nadelig effect hebben op de duurzaamheid van de folie staan in relatie tot de eisen, zoals die in het kader van de EU stortrichtlijn geformuleerd worden. Indien de toelaatbare concentratieniveaus ertoe leiden dat de voor de afdichting potentieel schadelijke stoffen in geringe concentratie aanwezig zullen zijn kan dit aspect als niet kritisch afgevoerd worden. Een aspect dat wat onderbelicht is, maar dat zich in de praktijk voor kan doen is het voorkomen van pH condities aanzienlijk boven pH 9. Boven deze pH is aangegeven dat met dit aspect rekening gehouden moet worden. Lokaal kan zeker verwacht worden dat afvalstoffen gestort worden met een pH die belangrijk hoger is dan 9. Deze gevoeligheid is met name bij PA en PET vermeld. Het is niet duidelijk in welke mate dit ook voor HDPE relevant is. Er wordt op pag. 103 ten onrechte aangenomen dat de bovenafdichting niet aan dit soort condities kan worden blootgesteld. Er zou richting stortbeheerder een aanbeveling moeten uitgaan om hoger alkalische reststoffen niet als laatste materiaal in een stort aan te brengen om ongewenste effecten op afdichtingen te vermijden.

5.2 Drainagematten

Voor de werking van drainage matten is het van belang dat ze op lange termijn hun functie van drainagekanaal blijven vervullen. Belangrijk is daarom dat de fysische integriteit behouden blijft ondanks de belasting en chemische invloeden, die langdurig op het materiaal inwerkt. Er wordt wel over chemische stabiliteit gesproken, maar het is niet duidelijk of dit aspect in de beoordeling is meegenomen. Met name de rol van VOC's in afval zouden in dit verband tot ongewenste neveneffecten kunnen leiden. Het hoge relatief oppervlak van de vezels, die de lagen filterdoek uit elkaar houden, speelt daarbij een grote rol. Uiteraard dient er onderscheid te

worden gemaakt tussen drainage materiaal onder de minerale of kunststofafdichting (potentieel aantasting) en drainage materiaal boven de feitelijke afdichting (geen nadelige effecten van afval zelf).

5.3 Kunststofdrainageleidingen

Voor drainageleidingen lijken de meeste duurzaamheidsaspecten voldoende te zijn behandeld. Ook hier zullen lassen de meest kritische punten zijn. Stugge buizen kunnen door zetting een dusdanige belasting krijgen dat op lasnaden breuk optreedt.

6. EVALUATIE VAN DE LEVENSDUUR VAN DE GEHELE AFDICHTINGSCONSTRUCTIE IN RELATIE TOT HET LANGE-TERMIJN GEDRAG VAN TOEGEPASTE MATERIALEN

6.1 Combinatie afdichting

In een afdichting wordt de algehele werking van de afdichting net als in een ketting bepaald door de zwakste schakel. Tot op zekere hoogte wordt van een fail/safe systeem gebruik gemaakt waarbij het falen van een onderdeel opgevangen wordt door een ander onderdeel. In die zin is een combinatie afdichting een systeem, waarin als de ene vorm van isolatie bezwijkt (b.v. folie) de andere (bentoniet) in staat is tenminste een deel van het functieverlies op te vangen. Het van toepassing verklaren van de levensduur van delen van de combinatieafdichting op het geheel is lastig, omdat niet op voorhand is vast te stellen in hoeverre mechanische effecten (wegspoelen, verzakken van een deel van de isolatievoorziening) een rol spelen als er dingen mis gaan.

6.2 Nazorg van de isolatievoorziening

De nazorg aspecten van een isolatie voorziening zijn in beperkte mate behandeld. Er is een protocol voorgesteld om vooraf te bepalen of de steunlaag risico's heeft voor de werking van de minerale afdichting. De wijze, waarop geconstateerd kan worden of een voorziening aan het bezwijken is, is niet behandeld, maar vanuit een beheersoogpunt wel van groot belang. Als het niet noodzakelijk is om te vervangen (functionaliteit aantoonbaar aanwezig) zou dat op basis van theorie vastgestelde vervangingsfrequentie niet mogen leiden tot het aanbrengen van een nieuwe afdekking. Belangrijk voor de keuze van de toe te passen isolatievoorziening is ook de mate waarin en het gemak waarmee een geconstateerde schade hersteld kan worden. Het hergebruik van de isolatie na eventuele ontmanteling is kort belicht en biedt vooralsnog voor bentoniet en Trisoplast geen mogelijkheden. Voor bentonietmatten en Hydrostab lijken de mogelijkheden van hergebruik uitgesloten.

6.3 Isolatie versus materiaalverbetering of combinatie daarvan

Het accent in de rapportage ligt geheel op de functionaliteit van de isolatievoorziening. De vraag doet zich voor in hoeverre een isolatie voorziening met nog meer voorzieningen afgezet moet worden tegen de materiaalkwaliteit en eisen, die daaraan met name ook in de toekomst gesteld kunnen c.q. moeten worden. Als bij voorbeeld zeer mobiele componenten een groot lange termijn risico vertegenwoordigen is het de vraag of de kosten om voor die specifieke stroom tot een behandeling en reductie van het potentieel risico te komen op kunnen wegen tegen de meerkosten van het aanbrengen van ingewikkelder isolatievoorzieningen en de mogelijk beperkte levensduur van de voorziening ten opzichte van het lange termijn risico. Een relatief eenvoudige wasstap kan voor een enorme reductie van mobiele componenten zorgen, die vervolgens geen risico meer voor bodem en grondwater vormen.

6.4 Maatregelen

Als oplossing voor de aantasting van de minerale afdichting door zouten is gesuggereerd Na_2CO_3 te doseren, dat dan met Ca of Mg uit de AVI bodemas / alkalische afvalstof tot calcië resp magnesiet reageert. Na_2CO_3 is zeer oplosbaar en zal dus niet door uitspoeling mogen verplaatsen voor het zijn functie als Ca en Mg vanger kan vervullen. Vanwege de hoge oplosbaarheid in porievocht lijkt dit een minder geschikte oplossing voor een duurzame werking van de minerale afdichting. Dit is ook het oordeel van Alterra.

Het aanbrengen van een diffusieremmende laag leidt tot een vertraging van de beïnvloeding, die voldoende kan zijn om het negatieve effect van de zouten op de minerale afdichting tegen te

gaan. Met name in een bovenafdichting is dit een reële optie. Het is wel een duidelijk kostenverhogende factor.

Toetsen van de steunlaag op zoutbelasting en evaluatie van de aard van het afval dat in contact staat met de steunlaag (inclusief sturing daarin) zijn maatregelen, die de levensduur zeker verlengen.

6.5 Voorgestelde proeven

In Aanhangsel 3 wordt een proef voorgesteld, die toegepast op de steunlaag een uitspraak mogelijk moet maken of de steunlaag qua zoutlast aanvaardbaar is. Het gaat om een proef, die een soort poriewater simuleert. De voorgestelde werkwijze vereist speciale apparatuur en is niet een in NEN of CEN kader geaccepteerde methode. Als alternatief kan een kolomproef tot $L/S=0.2$ toegepast worden. Dat levert hetzelfde soort percolaat/poriewater op en is wel als gestandaardiseerde methode beschikbaar (NEN 7343, 1995). Toetsing van alleen de steunlaag is onvoldoende. Aanvullende eisen zoals het vermijden van hoog alkalisch of sterk zouthoudend materiaal in de laatste stortgang zijn relatief eenvoudig en kunnen veel narigheid besparen.

7. CONCLUSIES

De in het Alterra rapport voorgestelde werkwijze om de levensduur van minerale afdichtingen te bepalen is state of the art. Het gelijktijdig meewegen van verschillende stress factoren (naast zout effecten ook pH, zetting, e.d) zou wel gewenst zijn, maar is op dit moment nog niet mogelijk. Dat betekent dat de “overdimensionering” ten opzichte van de eis in de regelgeving niet aan één parameter toegerekend mag worden.

In de beoordeling van de rol van zouten op de werking van de afdichting is vooral naar de steunlaag gekeken en in onvoldoende mate naar het te isoleren afval. Er zijn weinig gegevens van SAR waarden voor percolaat of poriewater gerapporteerd. Dit geeft onvoldoende beeld in hoeverre het gesignaleerde probleem tot een werkelijk praktijkprobleem leidt. Een eerste ruwe verkenning laat voor stortplaats percolaat en AVI bodemas een potentieel risico zien. De hardheid van de door Alterra aangegeven kritische zones per materiaal bepalen of er werkelijk sprake van is van een beperking van de levensduur.

Het aantal meetgegevens, waarop voor de verschillende minerale afdichtingen kritische zones worden afgeleid, is te beperkt en is qua bereik niet in overeenstemming met het parameterbereik, waarover uitspraken worden/moeten worden gedaan. Gezien de vergaande consequenties en aanbeveling (100 jaar haalbaar) is een betere onderbouwing van de kritische zones van belang en de aanbeveling nu (nog) niet verantwoord.

Er is geen inzicht wat de herhaalbaarheid van de metingen is waarmee de kritische zones zijn bepaald en of die nu door variatie in kwaliteit van deelmonsters of door uitvoeringsaspecten bepaald worden.

Er lijkt een misverstand te bestaan dat alleen de zoutlast in de steunlaag bepalend is voor het al dan niet functioneren van de minerale afdichting. Het gaat echter net zo zeer om de zoutlast uit afvalpercolaat/poriewater. De diffusiesnelheid door steunlaag is een functie van de verzadigingsgraad. Op dit moment is er geen duidelijkheid over de mate van waterverzadiging in de steunlaag, die bepalend is voor de transport snelheid.

Toepassing van AVI bodemas als steunlaag voor minerale afdichtingen lijkt minder geschikt vanwege de initieel hoge pH en de relatief hoge zoutlast.

In moderne stortplaatsen kunnen afvalstoffen met hoge pH relevant zijn. Te denken valt aan rookgasreinigingsresidue van AVI's en gestabiliseerd afval. Individuele afvalstromen kunnen ook een hoge pH vertonen, zodat kort voor de afwerkingsfase voorkomen wordt dat hoge pH materiaal in contact met de steunlaag komt.

Als alternatief voor de in aanhangsel 3 voorgestelde test kan een kolomproef tot $L/S=0.2$ toegepast worden. Dat heeft als voordeel dat een reeds gestandaardiseerde methode wordt gebruikt.

Er is een verband tussen de infiltratie, de isolatie voorziening, de daarmee samenhangende uitspoeling en de noodzakelijke duur van het in stand houden van voorzieningen (aantal herstel/vervangingscycli van de bovenafdekking).

Het volledig toerekenen van de overdimensionering van minerale afdichtingen ten opzichte van de eisen in het Stortbesluit aan de tolerantie voor zouten is niet juist gezien de vereiste reserve om andere gelijktijdige stress factoren op te kunnen vangen (pH, zetting, e.d.).

De conclusie vanuit de daadwerkelijke metingen aan kunststoffolies naar een levensduur van 100 jaar op basis van “expert opinion” doet geen recht aan de metingen aan lassen en de herhaald gegeven indicaties dat lassen het meest kritische aspect van folieafdichtingen zijn. Met name de discussie in Aanhangsel 2 is in dat opzicht te kort door de bocht.

De onderbouwing van de functionaliteit van Hydrostab op lange termijn is niet in verhouding tot die van de andere vormen van isolatie. Hydrostab is in de Alterra rapportage marginaal behandeld. In die zin kan het materiaal voor wat betreft het aspect duurzaamheid (vooralsnog) niet als gelijkwaardig met andere isolatievormen gezien worden. Daartoe wordt nadere onderbouwing/onderzoek noodzakelijk geacht.

Bij de toepassing van drainagematten aan de afvalzijde van de isolatie is niet duidelijk of VOC's een lange termijn risico vormen voor de vezels, die de filterdoeken uit elkaar moeten houden. Deze vezels hebben een zeer groot contact oppervlak en zijn als zodanig kwetsbaar voor aantasting van gasvormige componenten.

8. AANBEVELINGEN

Om zowel de helling en het intercept in de SAR - Totaal concentratie grafiek als ook de onderlinge relatie tussen de verschillende isolatie materialen beter te onderbouwen, dienen meer metingen te worden uitgevoerd dan het beperkt aantal metingen per materiaal, waar nu vergaande conclusies op zijn gebaseerd.

Er dient zowel in de SAR waarde als in de Totaal concentratie een variatie te worden aangebracht, die in overeenstemming is met het bereik zoals dat op basis van te verwachten stortplaats percolaat en AVI bodemas poriewater concentraties (tijdsafhankelijk) gegeven wordt. Daarvoor kan naast de hier gepresenteerde gegevens een nadere verkenning nodig zijn.

Het is van belang voor de beoordeling de uitkomsten van individuele metingen enkele metingen (3?) per materiaal onder gelijke condities uit te voeren om de herhaalbaarheid van dit type metingen te kunnen bepalen.

Gezien de rol van K als eenwaardig ion moet overwogen worden of K meegenomen zou moeten worden in de te berekenen SAR waarde?

Voor een betere inschatting van de eventuele diffusieremming als functie van verzadigingsgraad is een beter inzicht in het vochtgehalte in de steunlaag onder praktijkcondities zeer gewenst.

De onderbouwing van de duurzaamheidstermijn van Hydrostab dient nader onderbouwd/ onderzocht te worden.

Conclusie

Uitloogproeven aan te storten afvalstoffen c.q. afvalstofmengsels kunnen inzicht verschaffen in werkelijk risicovolle contaminanten in het afvalaanbod. Het verdient aanbeveling hier nader onderzoek voor uit te voeren.

De mate van waterverzadiging in de steunlaag en de afdichting is op dit moment onbekend. Informatie hierover is gewenst om tot uitspraken over mogelijke beïnvloeding te komen.

REFERENTIES

Annex II, EU landfill Directive, 2002.

Barlaz M.A. *Closing gaps in the regulation of MSW landfills: defining the end of the post-closure monitoring period*. Presented at the First Intercontinental Landfill Symposium, Lulea, Sweden, December 11-13, 2000.

Blakey, N.C., P.J. Reynolds, K. Bradshaw, C.P. Young (1996): *Landfill 2000 – A Field trial of accelerated waste stabilisation*. Final report to DOE. CWM 050/96 (DoE 4119) 1996.

Boels, D. en J. Breen (2001): *"Functionele levensduur van minerale afdichtingsmaterialen en kunststoffen in vloeistofdichte eindafwerking van stortplaatsen"*. Alterra rapport 290, 2001.

Bouwstoffenbesluit. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 1995, 567.

Bradshaw, K., P.J. Reynolds and N.C. Blakey (1993): *Landfill 2000. Progress report to the Department of the Environment (November 1992 to June 1993)*. WRe Report DoE 3466.

Comans, R.N.J., H.A. van der Sloot, P. Bonouvrie (1993): *Geochemical Reactions Controlling the Solubility of Major and Trace Elements During Leaching of Municipal Solid Waste Incinerator Residues*. Proceedings Municipal Waste Combustion. VIP 32. Air & Waste Management Association Pittsburg, Pennsylvania. 1993. 667 –679.

Dijkstra, J.J., H.A. van der Sloot, R.N.J. Comans (2002): *Process identification and model development of contaminant transport in MSWI bottom ash*. Waste Management 2002, 22(5):531-541.

Düllmann, H. and B. Eisele (1993): *Analysis of various landfill liners after 10 years of exposure to leachate*. In: Geology and confinement of toxic wastes. Vol 1. Eds. M. Arnould, M. Barres and B. Côme. A.A. Balkema, Rotterdam. 177 - 182.

Düllmann, H. and B. Eisele (1993): *The analysis of various landfill liners after 10 years exposure to leachate*. Proceedings Geoconfine '93 Vol 1, Geology and Confinement of Toxic Wastes, Montpellier, June 1993. Eds. M. Arnould, M. Barrès and B. Côme, Balkema Rotterdam. 1993. 177 - 182.

Duurzaam Storten, VVAV Project, ERM, Utrecht, 2001.

Ehrig, H.J. (1983): *Quality and quantity of sanitary landfill leachate*. Waste Management and Research, 1, 53-68, 1983.

EU Landfill Directive 1999/31/EC. Official Journal of the European Communities L 182/1 – 19. 16-7-1999.

Flyhammar, P. (1995): *Leachate quality and environmental effects at active swedish landfill*. Proceedings Sardinia 95, Landfill Symposium, Cagliari, Italy, October 1995, CISA. 549 -

- Ham, R.K. (1990): *Decomposition of residential and light commercial solid waste in test lysimeters*. US EPA SW-190c, 1990.
- Heibrock, G. (1997). Dessication cracking of mineral sealing liners. In: Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium, S. Margharita di Pula, Cagliari, Italy, 13-17 October 1997, pp. 101-113.
- Hjelmar, O. (1990): "Leachate from land disposal of coal fly ash." Waste Management and Research 8: 429-449
- Hjelmar, O. (1991): *Field studies of leachates from landfilled combustion residues*. Proceedings WASCON 91. Environmental implications of construction with waste materials., Maastricht, November 10 -14, 1991, ISCOWA Supplement.
- Hjelmar, O. (1996): Disposal strategies for MSWI residues, J. Haz Mats., 47,, 345-368, 1996.
- Hjelmar, O., H.A. van der Sloot, D. Guyonnet, R.P.J.J. Rietra, A. Brun and D. Hall (2001): in: *8th Waste management and Landfill Symposium*, October 2001. Volume III, 771-721.
- IAWG (International Ash Working Group; A.J. Chandler, T.T. Eighmy, J. Hartlen, O. Hjelmar, D.S. Kosson, S.E. Sawell, H.A. van der Sloot, J. Vehlow) (1997): *Municipal Solid Waste Incinerator Residues*. Studies in Environmental Science 67, Elsevier Science, Amsterdam, 974 pp.
- IAWG (International Ash Working Group; A.J. Chandler, T.T. Eighmy, J. Hartlen, O. Hjelmar, D.S. Kosson, S.E. Sawell, H.A. van der Sloot, J. Vehlow) (1997): *Municipal Solid Waste Incinerator Residues*. Studies in Environmental Science 67, Elsevier Science, Amsterdam, 974 pp.
- Johnson, C.A., G.A. Richner, T. Vitvar, N. Schittli, M. Eberhard (1998): *Hydrological and geochemical factors affecting leachate composition in municipal solid waste incinerator bottom ash. Part I: The hydrology of Landfill Losdorf, Switzerland*. Journal Contaminant Hydrology 33 (1998) 361-376.
- Johnson, C.A., M. Kaeppli, S. Brandenberger, A. Ulrich, W. Baumann (1999): *Hydrological and geochemical factors affecting leachate composition in municipal solid waste incinerator bottom ash. Part II The geochemistry of leachate from Landfill Losdorf, Switzerland*. Journal Contaminant Hydrology 40 (1999) 239-259.
- Meima, J.A. (1997): *Geochemical modelling and identification of leaching processes in MSWI bottom ash*. Thesis University of Utrecht, 1997.
- Melchior, S., K. Berger, B. Vielhaber en G. Miehllich. (1993) In: Geology and confinement of toxic wastes. Vol 1. Eds. M. Arnould, M. Barres and B. Côme. A.A. Balkema, Rotterdam, 325 – 330.
- NEN 7343 (1994): *Determination of leaching from granular construction materials and wastes by means of a column test*. June 1994.
- Oonk, H. and H. Woelders (1999): *Full scale demonstration of treatment of MSOR in a bioreactor at VAM in Wijster*. Proceedings Sardinia 1999.
- Reynolds, P.J. and N.C. Blakey (1992): *Landfill 2000: Report on cell construction, installation of monitoring equipment and cell wetting procedure*. WRe Report CO 3182.

- Robinson, H. (1995): *The Technical Aspects of Controlled Waste Management: A review of the composition of leachates from domestic wastes in landfill sites*. Rep. Nr. CWM/072/95. Aspinwall & Company Limited, Walford Manor, Baschurch, Shrewsbury, 1995.
- Rowe, R.K. (1995): *Leachate characteristics for MSW landfills*. Proceedings Sardinia 95, Landfill Symposium, Cagliari, Italy, October 1995, CISA. 327 - 344.
- C.E. Schaeffer, R.R. Arands, H.A. van der Sloot, D.S. Kosson, 1995. Prediction and experimental validation of liquid phase diffusion resistance in unsaturated soils. *J. Cont. Hydr.* 20,1995,145-166.
- Sloot, H.A. van der, D.S. Kosson, P.A.J.P. Cnubben, D. Hoede and O. Hjelm (1997): *Waste characterization to modify waste quality prior to disposal*. In : Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium, S. Margharita di Pula, Cagliari, Italy, 13-17 October 1997, pp. 315-328.
- Sloot, H.A. van der, L. Heasman and Ph. Quevauviller (1997): *Harmonization of leaching/extraction tests*, Studies in Environmental Science, Volume 70., Elsevier Science, Amsterdam, 292 pp.
- Sloot, H.A. van der, P.A.J.P. Cnubben, M. Geusebroek, R. Naus, J.W. Jansen-Venneboer, P. Bosman, A. Krom, C. Sollman (1997): *The self-forming and self-repairing sealing method: development of concept towards full scale application*. In : Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium, S. Margharita di Pula, Cagliari, Italy, 13-17 October 1997, pp.33 – 42.
- Sloot H.A. van der, P.A.J.P. Cnubben and H. Scharff (1999): *Predominantly inorganic equilibrium disposal – part of the total concept sustainable recycling and storage of solid waste*. In: Proceedings Sardinia 99, Seventh International Landfill Symposium, S. Margharita di Pula, Cagliari, Italy, 4-8 October 1999, pp. 103-110.
- Sloot, H.A. van der, O. Hjelm, J.Mehu, N. Blakey (1999): *Relevance of waste characterization by means of sophisticated leaching tests to assess treatment options, reuse potential and disposal of waste*. In: Proceedings Sardinia 99, Seventh International Landfill Symposium, S. Margharita di Pula, Cagliari, Italy, 4-8 October 1999, pp. 3-10.
- Sloot, H.A. van der, P.A.J.P.Cnubben and H. Scharff (1999): *Predominantly inorganic equilibrium disposal – part of the total concept sustainable recycling and storage of solid waste*. In: Proceedings Sardinia 99, Seventh International Landfill Symposium, S. Margharita di Pula, Cagliari, Italy, 4-8 October 1999, pp. 103-110.
- Sloot, H.A. van der, K.-U. Heyer, K. Hupe, R. Stegmann, P. Buurman (2000): *Milieueigenschappen en potentiële toepassingsmogelijkheden van het eindproduct van een mechanisch gescheiden organische fractie na stabilisatie in een bioreactor*. ECN-C00-054, 2000.
- Sloot, H.A. van der, A. van Zomeren, R.P.J.J. Rietra, D. Hoede, H. Scharff (2001): *Integration of lab-scale testing, lysimeter studies and pilot scale monitoring of a predominantly inorganic waste landfill to reach sustainable landfill conditions*. 8th Waste management and Landfill Symposium, October 2001, Vol 1: 255-264.
- Sloot, H.A. van der, O. Hjelm, J. Bjerre Hansen, P. Voitke, P. Lepom, R. Leschber, B. Bartet, N. Debrucker (2001): *Validation of CEN/TC 292 Leaching Tests and Eluate Analysis*

Methods PrEN 12457 part 1- 4, ENV 13370 and ENV 12506 in Co-operation with CEN/TC 308. 2001. ECN-C-01-117.

Sloot, H.A. van der, R.P.J.J. Rietra, E. Mulder, J.L.T. Hage, J.P. Brouwer (2001):
*Mogelijkheden tot verbetering van de voorspellende waarde van laboratorium-
uitloogproeven voor de praktijk.* ANVM project 228. ECN-C--01-027, 2001.

Sloot, H.A. van der, R.P.J.J. Rietra, R.C. Vroon, H. Scharff and J.A. Woelders (2001):
*Similarities in the long term leaching behaviour of predominantly inorganic waste,
Mswi bottom ash, degraded MSW and bioreactor residues.* 8th Waste management and
Landfill Symposium, October 2001, Vol 1, 199-208.

Steketee, J., (Tauf) (2001): *Presentatie RW15 onderzoek RWS-DWW.* Workshop Lab-Praktijk
EU Harmonisatie project (SMT4-CT97-7512) Heemskerk 1/2-2-2001.

Zevenbergen, C. (1994): PhD Thesis. *Natural weathering of MSWI bottom ash.* RU Utrecht,
1994.

BIJLAGE I: VALIDATIE EN 12457 PARTS 1-4 (CEN/TC 292)

Comparison of sub-sampling of MSWI Bottom ash by three methods based on composition versus leaching (all data in mg/kg).

			Grab			Cone&Quarter			Riffler		
			Avg	Std	Rstd %	Avg	Std	Rstd %	Avg	Std	Rstd %
COMPOSITION		Cu	5510	3695	67	2153	691	32	3293	2513	76
LEACHING	40mm	Cu	0.51	0.03	6.7	0.48	0.09	18	0.53	0.05	9.8
	10mm	Cu	0.58	0.05	8.8	0.59	0.06	11	0.57	0.05	8.9
	4mm	Cu	0.51	0.05	10	0.55	0.03	5.6	0.50	0.04	7.6
COMPOSITION		Ba	813.2	345.8	42.5	683.5	59.3	8.7	641.7	82.6	12.9
LEACHING	40mm	Ba	0.128	0.003	2.55	0.123	0.007	5.55	0.119	0.004	3.03
	10mm	Ba	0.113	0.002	1.75	0.110	0.002	2.22	0.107	0.004	3.51
	4mm	Ba	0.107	0.004	3.50	0.106	0.002	1.90	0.102	0.003	3.10
COMPOSITION		Zn	1810	145	8	2275	793	35	2739	1622	59
LEACHING	40mm	Zn	0.025	0.005	22	0.022	0.003	15	0.020	0.006	30
	10mm	Zn	0.018	0.003	15	0.016	0.002	13	0.017	0.003	20
	4mm	Zn	0.018	0.002	13	0.016	0.002	12	0.015	0.003	17
COMPOSITION		S	2852	168	5.9	2935	328	11.2	2866	246	8.6
LEACHING	40mm	S	81	4.8	5.93	75	11.4	15.1	94	10.8	11.50
	10mm	S	98	9.4	9.65	102	9.9	9.71	108	11.4	10.61
	4mm	S	100	7.2	7.20	104	7.0	6.71	110	7.37	6.69
COMPOSITION		Sb	29.8	4.6	15.4	27.9	2.3	8.1	27.4	5.8	21.1
LEACHING	40mm	Sb	0.030	0.004	14.35	0.032	0.004	12.60	0.035	0.002	4.96
	10mm	Sb	0.028	0.004	14.39	0.028	0.004	15.09	0.030	0.002	7.58
	4mm	Sb	0.030	0.004	13.16	0.032	0.004	12.16	0.033	0.004	13.38
COMPOSITION		Mo	4.1	1.0	25	5.3	2.9	55	4.0	1.3	33
LEACHING	40mm	Mo	0.042	0.007	17	0.040	0.008	20	0.046	0.003	7.4
	10mm	Mo	0.049	0.006	11	0.053	0.007	13	0.052	0.005	8.7
	4mm	Mo	0.048	0.005	10	0.054	0.003	5.1	0.051	0.006	11.5

The results indicate that the variability in analysis for composition in MSWI bottom ash is generally larger than that for assessing leachability in spite of the large difference in concentrations to be measured in solids versus liquids. Only in a few cases, where leachability is very low, then the relative standard deviation is largely determined by the analytical capabilities and no longer a function of sampling method or size fraction (e.g. Mo C&Q; Sb C&Q; Zn Grab).

BIJLAGE II: UITLOOGGEDRAG KRITISCHE COMPONENTEN AVI BODEMAS

