

IWACO B.V. Adviesbureau voor water en milieu

Rapport nr. 771401007

**Milieuhygiënische kwaliteit en beoordeling van
vormgegeven afvalstoffen in relatie tot storten**

P.G.M. de Wilde, Th.G.Aalbers

augustus 1999

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van Directie Afvalstoffen van Directoraat
Generaal Milieubeheer.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,
telefoon: 030 - 274 91 11, fax: 030 - 274 29 71

VERZENDLIJST

1 - 10	Directie Afvalstoffen, Directoraat-Generaal Milieubeheer
11 - 15	Directie Bodem, Directoraat-Generaal Milieubeheer
16	Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, Dr.ir. B.C.J. Zoeteman
17	Ir. P.A.H. Hermens, DGM/A
18	Ing. J.Th. Weisscher, DGM/A
19	Drs. A.J.C.W.M. de Kort, DGM/A
20	Ir. W.M.A.J. Willart, DGM/A
21	E. Spierings, Provincie Noord-Brabant
22	Mevr. J. Kok, VVAV
23	Ing. A.H. Krom, Afvalzorg Noord-Holland
24	Mevr. M. van Empel, AVI Twente
25	Ing W.M. Sierhuis, AVI-West
26	Ing. A.W.J. Goverde, AVR
27	Ing. H.J. Westerbeek, Esdex
28	Ir. C.W.J. Hooykaas, P & H
29	Ir. A.A. Smits, VAM
30	Ir. R. Bleijerveld, VBM
31	Ing. A.A. de Wagenaar, VBM
32	H. Groen, ARN
33	Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
34	Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
35	Prof.ir. N.D. van Egmond
36	Ir. F. Langeweg
37	Dr. J.A. Hoekstra
38 - 39	Auteurs
40	Hoofd Voorlichting en Public Relations, RIVM
41	Bureau Rapportenregistratie, RIVM
42	Bibliotheek RIVM
43 - 50	IWACO B.V.
51 - 75	Bureau Rapportenbeheer

SUMMARY

The Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) has introduced a new category of landfill; a landfill for conditioned (inorganic) waste materials. The Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment has asked the National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) to develop a method of judging and acceptance limits for immobilized waste, which will be dumped in a landfill for conditioned waste materials.

This report describes on the one hand the environmental quality of a number of immobilized waste materials and on the other hand a proposal for acceptance limits for immobilized waste materials.

Proposal for acceptance limits for immobilized waste materials

For dumping at a landfill for conditioned waste materials the National Institute of Public Health and the Environment (RIVM) has proposed to set limits for the content of organic matter (< 5%), the pressure-strength (< 1 N/mm²) and the emission of inorganic compounds, measured in the diffusion test (NEN 7345).

The maximum allowable emission, measured in the diffusion test, can be calculated as follows:

$$E_{64d} = \frac{I_{\max} * A_I}{f_{temp} * f_{ext, stort} * A_E} = 1,8 * \frac{I_{\max} * A_I}{A_E}$$

For bromide, chloride and sulphate the relationship is shown in the following formula:

$$E_{64d} = \frac{I_{\max} * A_I}{f_{temp} * f_{ext, stort} * A_E} = 23,2 * \frac{I_{\max} * A_I}{A_E}$$

I_{\max}	= maximum allowable immission during a period of 10000 years (mg/m ²).
$E_{64 dgn}$	= maximum allowable emission during 64 dgn (mg/m ²).
A_E	= emission-surface (m ²).
A_I	= immission-surface (m ²).
f_{temp}	= correctionfactor for the temperature difference between laboratory and actual practice.
$f_{ext, stort}$	= extrapolationfactor of $E_{64 dgn}$ at the diffusion test to $E_{10000 jr}$ resp. $E_{100 jr}$ at a landfill for conditioned waste materials.

An overview of the maximum allowable immisions is given in table 1.

Table 1: Maximum allowable immissions for immobilized waste materials.

Stof	Soil	Groundwater
	Immission (mg/m ²) per 10000 years	Immission (mg/m ²) per 100 years
As	45.500	
Ba	316.900	
Cd	1.200	
Co	32.300	
Cr	160.600	
Cu	55.400	
Hg	500	
Mo	17.100	
Ni	55.600	
Pb	138.100	
Sb	4.200	
Se	1.700	
Sn	32.100	
V	101.900	
W	2.650	
Zn	220.800	
Br		9.300 ¹
Cl		3.274.400 ¹
CN-complex	28.500	
CN-free	17.100	
F	1.514.000	
SO ₄		4.687.600

¹ Contrary to table no immission values applies to bromide and chloride for dumping waste at a landfill for conditioned waste materials in locations with the groundwater with naturel chloride concentration of more than 5000 mg/l.

Conclusions

The following conclusions are derived:

- The proposed acceptance limits and requirements for immobilized waste materials, which will be dumped, protects the soil (solid en liquid phase) at the level of the target values for soil quality in the Netherlands.

- None of the investigated immobilized waste materials meets the emission values for a category-1 building material (The Building Materials Decree). But a few immobilized waste materials meets the emission values for a category-2 building material.
- By judging the immobilized waste materials with the diffusion test and the proposed acceptance limits a number of immobilized (strong leaching chemical) waste materials can be dumped at a landfill for conditioned waste materials.

SAMENVATTING

In de visie van het ministerie van VROM op stortplaatscategorieën is een nieuwe stortplaatscategorie geïntroduceerd, nl. de stortplaats voor geconditioneerd afval. Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu is door het ministerie van VROM gevraagd om een beoordelingsmethode te ontwikkelen en aparte grenswaarden te formuleren voor de beoordeling van immobilisaten, die gestort worden op een dergelijke stortplaats voor geconditioneerd afval.

Het onderhavige rapport beschrijft enerzijds de milieuhygiënische kwaliteit van een aantal geïmmobiliseerde afvalstoffen en anderzijds voorstellen ten aanzien van grenswaarden voor de beoordeling van geïmmobiliseerde afvalstoffen.

Op grond van het uitgevoerde onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij het hanteren van de voorgestelde emissienormen en de daarbij behorende eisen voor te storten immobilisaten kan de bodem (vaste en vloeibare fase) worden beschermd op het nivo van de streefwaarde bodemkwaliteit.
- Geen van de onderzochte immobilisaten voldoet aan de normen, die het Bouwstoffenbesluit stelt voor categorie-1 bouwstoffen. Slechts enkele immobilisaten voldoen als niet-vormgegeven en/of vormgegeven bouwstof aan de normen voor een categorie-2 toepassing.
- Een beoordeling van immobilisaten met de diffusieproef, waarbij het immobilisaat intact blijft, en de voorgestelde maximaal toelaatbare emissies zal voor een aantal afvalstoffen resulteren in een lichter stortregime (van C_2 naar $C_{\text{gecond.afval}}$).

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	9
2. Immobilisatietechnieken	11
2.1. Anorganische bindmiddelen	11
2.2. Organische bindmiddelen	11
2.3. Thermische methoden	11
2.4. Chemische fixatie	12
3. Stortplaatscategorieën	13
4. Beoordeling van geïmmobiliseerde afvalstoffen	15
4.1. Duurzaamheid	15
4.2. Andere beoordelingsaspecten	18
5. Maximaal toegelaten belasting	20
6. Van immissie-normen naar emissie-normen	23
6.1. Beschouwde stortsituatie	23
6.2. Emissie- en immissie-oppervlak	23
6.3. Relatie tussen maximaal toegelaten immissie en de emissie gemeten met de diffusieproef	24
6.4. Gevoeligheidsanalyse	32
7. Milieuhygienische kwaliteit van geïmmobiliseerde afvalstoffen	33
7.1. Materiaal en methoden	33
7.2. Resultaten	38
8. Toetsing kwaliteit van immobilisaten aan normen uit het Bouwstoffenbesluit en de grenswaardennotitie	43
8.1. Bouwstoffenbesluit	43
8.2. Grenswaardenwaarden stortplaatsen	45
9. Conclusies	48
Literatuur	49
Bijlage 1. Emissie naar de bodem gedurende de exploitatiefase	50
Bijlage 2. Indeling van te storten afvalstoffen	52

BEGRIPPEN EN DEFINITIES

BAGA	Besluit Aanwijzing Gevaarlijke stoffen
Beschikbaarheidsproef	Proef om de beschikbaarheid voor uitloging van bepaalde componenten te simuleren.
C ₁ -afvalstoffen	Afvalstoffen, die vanuit milieuhygiënisch oogpunt dermate bezwaarlijk is, dat deze slechts - met toestemming van het betrokken land - mogen worden uitgevoerd.
C ₂ -afvalstoffen	Niet-verwerkbare sterk uitlogbare vaste anorganische gevaarlijke afvalstoffen, die slechts op of in de bodem gebracht kunnen worden, indien de beheersmaatregelen en de voorzieningen zodanig zijn, dat percolaatvorming wordt voorkomen, zodat emissies naar de bodem verwaarloosbaar geacht worden.
C ₃ -afvalstoffen	Niet-verwerkbare matig en slecht uitlogbare vaste anorganische gevaarlijke afvalstoffen, die slechts op of in de bodem gebracht kunnen worden, indien de beheersmaatregelen en de voorzieningen zodanig zijn, dat het percolaat slechts verwaarloosbare emissies naar de bodem kan veroorzaken.
C _{gecond} -afvalstoffen	Geconditioneerde matig en slecht uitlogbare vaste anorganische gevaarlijke afvalstoffen, die slechts op of in de bodem gebracht kunnen worden, indien de beheersmaatregelen en de voorzieningen zodanig zijn, dat het percolaat slechts verwaarloosbare emissies naar de bodem kan veroorzaken (zie onderhavig rapport).
C ₂ -stortplaats	Een aangelegde en gecontroleerde plaats op land overeenkomstig het Stortbesluit bodembescherming, waar C ₂ -afvalstoffen gestort mogen worden, voorzien van extra onderen bovenafdichting (afdak tijdens de exploitatiefase) met lage faalkans teneinde percolaatvorming te voorkomen (droge stortplaats).
C ₃ -stortplaats	Een aangelegde en gecontroleerde plaats op land overeenkomstig het Stortbesluit bodembescherming, waar C ₃ -afvalstoffen gestort mogen worden.
C _{gecond} -stortplaats	Een aangelegde en gecontroleerde plaats op land overeenkomstig het Stortbesluit bodembescherming, waar geconditioneerde afvalstoffen gestort mogen worden en waar extra voorzieningen worden getroffen voor een versnelde afvoer van het percolaat.
Diffusie	Het transport van stoffen in een poreus vast materiaal of vloeistof als gevolg van een verschil in concentratie.

Diffusieproef	Proef waarmee het uitlooggedrag van vormgegeven en monolithische materialen kan worden gesimuleerd.
Eluaat	Uitloogvloeistof, waarin de uit het materiaal uitgeloopte componenten zijn opgenomen.
Emissie	De uitgeloopte hoeveelheid van een bepaalde stof
Exploitatiefase	Periode waarin afvalstoffen worden gestort op een stortplaats.
IBC-criteria	Criteria voor het Isoleren, Beheersen en Controleren ¹ . Deze houden in dat: <ol style="list-style-type: none">1 verspreiding van op of in de bodem gebrachte bodembedreigende stoffen naar de omliggende bodem en/of naar ander milieucompartimenten dient te worden vermeden door isolerende voorzieningen;2 de situatie waarin bodembedreigende stoffen op of in de bodem worden gebracht beheersbaar dient te zijn en - in de toekomst - te blijven, ook in geval de isolerende maatregelen falen, d.w.z. voor herstel of vernieuwing in aanmerking komen;3 de situatie waarin bodembedreigende stoffen op of in de bodem worden gebracht controleerbaar dient te zijn en - in de toekomst - te blijven. Regelmatige controle van de situatie en de effectiviteit van de getroffen maatregelen, dient plaats te vinden.
Immissie	De intredende hoeveelheid van een bepaalde stof in de bodem.
Immobilisatie	Een technologische ingreep waarbij de fysische en/of chemische eigenschappen van een afvalstof worden gewijzigd, zodanig dat de kans op verspreiding van milieuverontreinigende stoffen door uitloging, erosie of verstuiving op de korte en lange termijn wordt verminderd.
Kolomproef	Proef waarmee het uitlooggedrag van poeder- en korrelvormige materialen kan worden gesimuleerd als functie van de LS-waarde.
Nazorgfase	Periode na sluiting van de stortplaats en aanbrengen van de bovenafdichting.
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Tortuositeit	Een maat voor de fysische vertraging van een stof in een materiaal ten gevolge van de poriestructuur. Het geeft informatie over de weglengte, die een diffunderend ion in een poreuze matrix moet afleggen.
Uitloging	De afgifte van anorganische en/of organische stoffen uit materialen door statisch of dynamisch contact met een uitloogvloeistof.
Uitloogvloeistof	Vloeistof waaraan het materiaal wordt blootgesteld.
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

1. INLEIDING

Afvalstoffen worden op basis van herkomst en samenstelling onderverdeeld in gevaarlijke en niet-gevaarlijke afvalstoffen (BAGA). Tot de niet-gevaarlijke afvalstoffen behoort onder andere huishoudelijk afval. Binnen de gevaarlijke afvalstoffen wordt op basis van het uitlooggedrag onderscheid gemaakt in C₂- en C₃-afvalstoffen². De zwaarste categorie gevaarlijke afvalstoffen, de C₁-afvalstoffen, worden tot nu toe afgevoerd naar speciale stortplaatsen in het buitenland. Afgaand op het huidige aanbod zal de stortcapaciteit voor C₂-afvalstoffen over een tiental jaren onvoldoende beschikbaar zijn. Voor de C₃-afvalstoffen zijn meer stortplaatsen beschikbaar. Voor deze categorie afvalstoffen is vooralsnog voldoende stortcapaciteit beschikbaar.

Het Nederlands afvalstoffenbeleid is erop gericht de hoeveelheid te storten afvalstoffen terug te brengen tot een onvermijdelijke hoeveelheid. Er wordt naar gestreefd dit te bereiken door stimulering van bewerkingen van afvalstoffen, nuttige toepassingen van afvalstoffen of fracties daaruit en stortverboden voor afvalstoffen waarvan vast staat dat er realiseerbare andere verwerkingen mogelijk zijn.

Het immobiliseren van afvalstoffen, waarbij het uitlooggedrag van de afvalstof positief beïnvloedt wordt, is een mogelijkheid om afvalstoffen te bewerken. Door Directoraat-Generaal Milieubeheer van het ministerie van VROM is deze verwerkingsmethode als volgt gedefinieerd:

Immobilisatie is een technologische ingreep waarbij de fysische en/of chemische eigenschappen van een afvalstof worden gewijzigd, zodanig dat de kans op verspreiding van milieuverontreinigende stoffen door uitloging, erosie of verstuiving op de korte en lange termijn wordt verminderd³.

Eenzijds zal dit gericht zijn op het vervaardigen van een immobilisaat dat is in te zetten als een bouwstof conform het Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterbescherming. Anderzijds kan door immobilisatie de uitloging van C₂-afvalstoffen zodanig verminderen dat deze binnen de grenswaarden voor C₃-afvalstoffen komt. Hierdoor kunnen meer afvalstoffen naar een stortplaats voor C₃-afvalstoffen en zal het storten op een stortplaats voor C₂-afvalstoffen afnemen.

Voor de beoordeling van de uitloging van te storten gevaarlijke afvalstoffen wordt in de grenswaardennotitie een verkorte kolomproef (L/S=1, volgens NEN 7343) voorgeschreven. Hierbij dient de afvalstof eerst verkleind te worden tot een deeltjesgrootte kleiner dan 4 mm alvorens de kolomproef uitgevoerd kan worden. Momenteel geldt dit dus ook voor een vormgegeven immobilisaat. Voor veel immobilisaten, die afkomstig zijn van een proces gebaseerd op fysische insluiting, zal het verkleinen het immobilisatie-effect voor een deel te niet doen. Een beoordeling van immobilisaten, waarbij het immobilisaat intact blijft, ligt

meer voor de hand, aangezien de uitloging beter overeenkomt met de daadwerkelijke uitloging in praktijksituatie.

Het ministerie van VROM is voornemens een nieuwe stortplaats voor geconditioneerd (geïmmobiliseerd) afval te introduceren. Op deze stortplaats (compartiment van een C₃-stortplaats) kunnen vormgegeven geïmmobiliseerde C₂-afvalstoffen gestort worden onder minder strenge voorwaarden dan bij het storten in de C₂-stortplaats.

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu en IWACO B.V. zijn door het ministerie van VROM gevraagd om een beoordelingsmethode te ontwikkelen en aparte grenswaarden te formuleren voor de beoordeling van geconditioneerde vormgegeven immobilisaten.

2. IMMOBILISATIETECHNIEKEN

In het CUR-rapport “Beoordeling van immobilisaten”⁴ zijn de verschillende immobilisatietechnieken op basis van de gemeenschappelijke kenmerken uitloging en duurzaamheid verdeeld in vier hoofdgroepen:

- anorganische bindmiddelen
- organische bindmiddelen
- thermische methoden
- chemische fixatie

In de navolgende paragrafen volgt een korte beschrijving van deze hoofdgroepen.

2.1. Anorganische bindmiddelen

Het belangrijkste bindmiddel in deze categorie is cement. Daarnaast worden gips en kalk ook als bindmiddel toegepast. Alle typen cement, zoals portlandcement, hoogovencement en calciumaluminaat-cementen zijn voor immobilisatietechnieken bruikbaar. Cement wordt vaak toegepast in combinatie met andere stoffen om specifieke stoffen in de matrix te binden. Autoclaving wordt ook onder deze groep behandeld, omdat het produkt een vergelijkbare structuur bezit en daardoor vergelijkbaar gedrag vertoont.

Autoclaving is een techniek waarbij onder verzadigde stoomdruk bij circa 180 °C een produkt ontstaat dat qua structuur en samenstelling veel op een cementgebonden produkt lijkt. De hoge temperatuur waaraan de produkten blootstaan, kan echter gevolgen hebben voor eventueel aanwezige vluchtige stoffen (verdamping).

2.2. Organische bindmiddelen

Bitumen. Bitumen zijn waterafstotend en worden daarom toegepast voor het fysisch inkapselen van overwegend anorganische verontreinigingen en zouthoudende afvalstoffen.

Polymeren. Hars en harder hebben geen doorgaande porienstructuur en zijn daardoor moeilijk toegankelijk voor water.

Immobilisatieprocessen op basis van organische bindmiddelen die plaatsvinden bij verhoogde temperaturen, kunnen uitstoot van vluchtige stoffen veroorzaken.

2.3. Thermische methoden

Sinterprocessen. De hoge temperatuur (circa 1000 °C) tijdens het sinteren drijft een aantal vluchtige componenten zoals halogenen, kwik, etc. uit de matrix. Eventueel aanwezige organisch stof en verontreinigingen worden volledig afgebroken.

Smelten vindt veelal plaats bij temperaturen boven circa 1000 °C. Deze methode vertoont in nog sterkere mate dan sinterprocessen een uitstoot van vluchtige stoffen. De dichte structuur van verglaasde produkten voorkomt een uitgebreide inwendige porienstructuur.

2.4. Chemische fixatie

Chemische fixatie vermindert de oplosbaarheid van een afvalstof. Chemische fixatie verandert niets aan de uiterlijke kenmerken van de afvalstof, zoals korrelgradatie. Alleen het chemisch gedrag zal veranderen.

3. STORTPLAATSCATEGORIEËN

In de visie van het ministerie van VROM op stortplaatscategorïeën⁵ zullen er in de toekomst in Nederland 4 stortplaatscategorïeën zijn, nl:

- **Stortplaatsen voor niet gevaarlijk afval**

Deze stortplaatsen bestaan reeds maar zullen in aantal sterk afnemen als gevolg van het Besluit stortverbod afvalstoffen. Deze stortplaatsen dienen een vergunning te hebben die voldoet aan het Stortbesluit bodembescherming

- **Stortplaatsen voor matig uitloogbaar gevaarlijk afval (C₃-stortplaats)**

Deze stortplaatsen bestaan reeds. Deze stortplaatsen dienen een vergunning te hebben die voldoet aan het Stortbesluit bodembescherming. De afvalstoffen kunnen in de exploitatiefase van de stortplaats zonder bovenafdichting gestort worden. Deze stortplaatsen onderscheiden zich slechts van stortplaatsen voor niet-gevaarlijke afvalstoffen in de voorwaarde dat er in principe slechts anorganische afvalstoffen gestort mogen worden, aangezien de afbraak van organische afvalstoffen de uitloging van de gestorte afvalstoffen zodanig sterk kan toenemen dat de voorzieningen te bescherming van bodem en grondwater onvoldoende kunnen zijn.

- **Stortplaatsen voor sterk uitloogbaar gevaarlijk afval (C₂-stortplaats)**

Voor sterk uitloogbare afvalstoffen bestaat momenteel slechts één stortplaats, de C₂-stortplaats op de Maasvlakte. Op deze stortplaats kunnen deze afvalstoffen droog gestort en droog gehouden worden. Deze stortplaats is namelijk in de exploitatiefase voorzien van een dak zodat er geen water bij het afval kan komen. Het is niet te verwachten dat deze stortplaats moet worden uitgebreid of dat er nieuwe nodig zijn. Daarnaast zijn er op een aantal C₃-stortplaatsen voorzieningen getroffen die niet in overeenstemming zijn met de in dit rapport ontwikkelde criteria voor het bergen van bepaalde C₂-afvalstoffen.

- **Stortplaatsen voor geconditioneerd (geïmmobiliseerd) afval**

Om op de langere termijn te kunnen blijven waarborgen dat voldaan wordt aan de bescherming van bodem en grondwater waarvan in de "Europese richtlijn betreffende het storten van afvalstoffen" is uitgegaan, is in de Nederlandse regelgeving een in feite eeuwigdurende nazorg voorgeschreven. Om de risico's op de langere termijn te verkleinen en de nazorg betaalbaar en geloofwaardig te houden, zullen te storten onbehandelde sterk uitloogbare afvalstoffen voor het storten droog moeten zijn en droog gehouden moeten worden. Aan deze voorwaarde kan op verschillende manieren voldaan worden. Een manier is de stortplaats van begin af aan te overdekken zoals bij de C₂-stortplaats op de Maasvlakte. Een andere manier is de betreffende afvalstoffen eerst een behandeling te geven, zodat de afvalstoffen zodanig geconditioneerd zijn dat het effect gelijk is aan het effect van de maatregelen die bij de C₂-stortplaats op de Maasvlakte zijn genomen. De conditionering van sterk uitloogbare afvalstoffen kan bijvoorbeeld geschieden door immobilisatie.

Met andere woorden: het effect van een behandeling van sterk uitlogbare afvalstoffen tot geconditioneerde afvalstoffen kan gelijk zijn aan het effect van het droog storten en drooghouden bij de C₂-stortplaats onder de volgende voorwaarden:

- Het percolaat dat in contact kan komen met de geconditioneerde afvalstoffen moet in hoeveelheid beperkt blijven en mag in kwaliteit niet sterk verontreinigd zijn.
- Er moet verzekerd worden dat ook op langere termijn geen contact tussen grondwater en geconditioneerde afvalstoffen kan ontstaan.

Voor het storten van geconditioneerde sterk uitlogbare afvalstoffen kan dit verzekerd worden door de volgende aanvullende maatregelen in acht te nemen:

1. Beperking van de accumulatie van de hoeveelheid percolaat door maatregelen ter bevordering van de doorstroombaarheid van de stortplaats. De doorstroombaarheid van een dergelijke stortplaats dient zodanig te zijn dat de contacttijd tussen het percolaat en de afvalstof zo gering mogelijk is en het percolaat snel afgevoerd kan worden, zodat de stort zo droog mogelijk blijft en na afwerking vrijwel geheel droog te maken is.
2. Voorkomen van onaanvaardbare verontreinigingen in het percolaat door enerzijds de beperking van het contactoppervlak van het geconditioneerde afvalstoffen met het percolaat en anderzijds de beperking van de tijdsperiode dat er uitloging kan optreden (= contacttijd tussen geconditioneerde afvalstoffen en percolaat). Aan deze voorwaarden kan worden voldaan wanneer de geconditioneerde afvalstof gestort worden als een vormgegeven materiaal en de lege ruimten (verticaal) tussen de vormgegeven geconditioneerde afvalstoffen op te vullen met materiaal met een goede (onverzadigde) doorlatendheid.
3. Voorkomen van contact tussen de gestorte afvalstoffen en grondwater door er zorg voor te dragen dat de geconditioneerde afvalstoffen ook op langere termijn tenminste 0,7 m boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand zullen blijven, zoals bepaald in artikel 3 lid 1 van het Stortbesluit bodembescherming. Dit houdt in dat op bestaande stortplaatsen die niet voldoen aan dit artikel geen onbehandelde of geconditioneerde sterk uitlogbare gevaarlijke afvalstoffen gestort mogen worden.

Hiermee wordt een nieuwe stortplaatscategorie geïntroduceerd, nl. de stortplaats voor geconditioneerd afval. Deze stortplaats dient een vergunning te hebben die voldoet aan het Stortbesluit bodembescherming en een aantal aanvullende voorzieningen.

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu en IWACO B.V. zijn door het ministerie van VROM gevraagd om een beoordelingsmethode te ontwikkelen en aparte grenswaarden te formuleren voor de beoordeling van geconditioneerde vormgegeven immobilisaten.

4. BEOORDELING VAN GEÏMMOBILISEERDE AFVALSTOFFEN

Onder begeleiding van onderzoekscommissie CUR-D24 “Duurzaamheid van immobilisaten” is door drie werkgroepen onderzoek uitgevoerd naar de beoordeling van immobilisaten⁶. Resultaten van dit onderzoek zijn gemodificeerde testmethoden voor het onderzoeken van de de meest relevante aantastingsmechanismen van immobilisaten. De (gemodificeerde) testmethoden zijn vervolgens aan de hand van (gesimuleerde) immobilisaten onderzocht op praktische uitvoerbaarheid en geschiktheid. Daarnaast heeft de onderzoekscommissie kwantitatieve criteria voorgesteld om de resultaten van de onderzoeken ook daadwerkelijk te kunnen toetsen. De voorgestelde criteria zijn zoveel mogelijk gebaseerd op het gedrag van bouwmaterialen in de praktijk. Daar waar deze informatie niet beschikbaar was, is het voorgestelde criterium gebaseerd op de onderzoeksresultaten verkregen bij de modificatie en geschiktheidsonderzoek van de testmethoden. Aanvullend onderzoek aan immobilisaten (in de praktijk) is noodzakelijk om de voorgestelde criteria nader vast te stellen c.q. beter te onderbouwen.

4.1. Duurzaamheid

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste aantastingsmechanismen met de bijbehorende factoren, die van invloed zijn op de mate van aantasting en het karakteristieke schadebeeld.

Tabel 1. Overzicht van de belangrijkste aantastingsmechanismen, factoren en schadebeelden.

Aantastingsmechanisme	Factoren	Schadebeeld
Nat / droog	Vocht, temperatuur	Micro/macroscheurvorming
Vorst / dooi	Vocht, temperatuur	Micro/macroscheurvorming
Erosie (wind)	Windsnelheid, vaste stofdeeltjes	Materiaalverlies oppervlak
Oxydatie	Oxydatoren, straling (UV), vocht, temperatuur	Materiaalverbrossing oppervlak

De genoemde aantastingsmechanismen worden hieronder in het kort beschreven.

4.1.1. Nat/droog

Indien een materiaal met een capillaire poriënstructuur wordt blootgesteld aan periodieke nat/droog wisselingen kunnen als gevolg van zowel fysische als chemische aantastingsmechanismen schade aan het materiaal ontstaan.

Bij het uitdrogen van poreuze of sterk adsorberende materialen kan krimp van het materiaal optreden. Deze volume verandering is het gevolg van de capillaire krachten of oppervlaktetenspanningen, die ontstaan bij het uitdrogen van capillairen respectievelijk verlies van adsorptiewater. De mate waarin de krimp optreedt, hangt af van de samenstelling, de aard, het vochtgehalte en de geometrie van het materiaal, evenals van de temperatuur en de

relatieve vochtigheid van de omringende lucht. Als gevolg van droogkrimp kan er scheurvorming optreden. Dergelijke scheuren kunnen aan het oppervlak van het materiaal tienden van mm's tot meerder mm's of cm's wijd zijn en vrij diep (cm's tot dm's) het materiaal penetreren.

Bij verdamping van water zal een zoutoplossing op een zeker moment de maximale oplosbaarheid van het betreffende zout overschrijden, waarbij kristallisatie zal gaan optreden. Als gevolg van kristallisatiedruk kan de druk op de poriënwand dermate hoog worden dat het materiaal gaat afschilferen, scheuren of zelfs desintegreren.

Bij contact met water kunnen (macro)componenten uit een materiaal oplossen met als mogelijk gevolg een toename van de porositeit en permeabiliteit. Indien dit oplossen de matrixstructuur betreft kan dit resulteren in een volledige desintegratie van het materiaal bij het contactvlak met het water. De oplosbaarheid van componenten is voornamelijk afhankelijk van de concentratie aan reactanten (complexvormers, zuren/basen, oxydatoren/reductoren, enz.) met voorgenoemde componenten en de temperatuur. Voorbeelden van niet-waterbestendige bindmiddelen zijn kalk, gips en klei.

4.1.2. Vorst/dooi

Poreuze materialen kunnen bij daling van de temperatuur beneden 0°C worden beschadigd wanneer het daarin aanwezige water bevroert. Hoewel de meningen over het precieze degradatieproces nog niet éénsluidend zijn, worden de volgende mechanismen over het algemeen van belang geacht.

1. Bij bevriezing van water vindt een volumetoename van 9% plaats. Indien de capillaire poriën van een materiaal (nagenoeg) geheel gevuld zijn met water leidt dit tot een drukopbouw van maximaal de smeltdruk van het ijs bij de heersende temperatuur.
2. In het algemeen zal echter een deel van de capillaire poriën gevuld zijn met lucht. Bij eenzijdige bevriezing van het materiaal zal dan als gevolg van de volumetoename ter plaatse van de ijsvorming, het nog niet bevroren poriën water naar de "warme" zijde worden weggedrukt. Het poreuze materiaal bezit echter een stromingsweerstand, zodat tijdens dit transport van het poriënwater een drukkracht wordt opgeroepen, een zogenaamde hydraulische druk.
3. Volgens de thermodynamica daalt het vriespunt van poriënwater met afnemende poriëndiameter. Voor water in de fijne gelporiën van cementsteen is zelfs een temperatuur van -80°C nodig om het water te bevriezen. Dit houdt in dat eerst het water in de grovere poriën bevroert.
4. Wanneer een bepaalde open ruimte in een poreus materiaal zich volledig gevuld heeft met ijs van 0°C en de temperatuur daalt vervolgens verder onder nul, dan zal het ijs zich lostrekken van de poriënwallen en zal er een open ruimte ontstaan. Door diffusie van waterdamp, gevolgd door sublimatie, kan deze ruimte bij lagere temperatuur nieuw ijs ontstaan. Latere temperatuurstijging doet het ijs weer uitzetten, doch de oorspronkelijke

ruimte is nu niet meer aanwezig en drukopbouw is dus het gevolg. Bij een langdurige, sterke vorstperiode zal dit mechanisme een belangrijke rol spelen.

4.1.3. Erosie (wind)

Onder erosie wordt verstaan het materiaalverlies dat optreedt als lucht met daarin vaste deeltjes of water met of zonder vaste deeltjes langs het oppervlak van een materiaal beweegt.

Bekend is dat de erosiesnelheid afhangt van:

- ♣ De eigenschappen van de vaste deeltjes (concentratie, vorm, afmetingen, hardheid);
- ♣ De stroomsnelheid van het eroderend medium (lucht of water)
- ♣ De aanwezigheid van onregelmatigheden aan het materiaaloppervlak;
- ♣ De sterkte van het materiaal

4.1.4. Oxydatie

Oxydatie is een chemische reactie waarbij bestanddelen van het materiaal, vaak (onverzadigde) polymeerketens, door een sterke oxydator (zuurstof, ozon, fotochemische oxydanten, e.d.) wordt omgezet in andere verbindingen. Bij deze reactie speelt water meestal een belangrijke rol. De voor de chemische reactie benodigde activeringsenergie wordt geleverd door de zonnestraling.

De chemische verbindingen die ontstaan door oxydatie van bepaalde bestanddelen in een materiaal vertonen vaak een sterk afwijkend mechanisch, fysisch en/of chemisch gedrag. Hierdoor kunnen de prestatie-eigenschappen van het materiaal wezenlijk veranderen. Echter, dergelijke veranderingen blijven veelal beperkt tot de toplaag van het materiaal

Anorganische verbindingen zijn in het algemeen niet gevoelig voor deze vorm van aantasting. Organische verbindingen daarentegen wel. Zeer bekend is bijvoorbeeld de “verwering” van verven en de veroudering van bitumen.

4.1.5. Relevantie aantastingsmechanismen voor het storten van immobilisaten

Uit het CUR-D24 onderzoek en een aantal gesprekken met de onderzoekers blijkt dat de duurzaamheid van geïmmobiliseerde afvalstoffen bij het storten een minder grote rol speelt dan bij het gebruik van geïmmobiliseerde afvalstoffen als bouwstof. Verspreiding van bestanddelen als gevolg van aantastingsmechanismen, zoals nat-droog, vorst-dooi, erosie en oxydatie, treedt voornamelijk op als het immobilisaat niet is afgedekt in de stort. In het geval van storten zal in het algemeen het te storten materiaal binnen enkele dagen worden afgedekt met een nieuwe laag te storten materiaal. Inwerking van weer en wind zal normaal gesproken in een dergelijk korte periode niet resulteren in een ontoelaatbare afname van de prestatie-eigenschappen. In het geval dat het gestorte materiaal een langere tijd direct aan de weersinvloeden wordt blootgesteld, zal met name de nat/droog bestendigheid van het materiaal een rol gaan spelen.

Derhalve wordt voorgesteld om voor immobilisaten die niet langer dan één maand blootgesteld worden aan weer en wind, het aspect duurzaamheid niet verder bij de beoordeling te betrekken.

4.2. Andere beoordelingsaspecten

Om de bescherming van de bodem ook op termijn te waarborgen dient naast een beoordeling van de uitloging ook druksterkte van de fysische matrix van het immobilisaat te worden beoordeeld. Bij het, op den duur, uiteen vallen van de fysische structuur kunnen de milieubezwaarlijke componenten beter bereikbaar worden voor het uitloogmedium, en daardoor gemakkelijker en sneller uitlogen. Aangezien de onderste laag immobilisaat in de stortplaats in ieder geval niet mag bezwijken onder de last van de bovenop aangebrachte lagen, dient een eis te worden gesteld aan de druksterkte van de immobilisaten. Een 20 meter hoge stort met een dichtheid van 2000 kg/m^3 veroorzaakt een druk van $0,4 \text{ N/mm}^2$ onder in de stort. Hoewel dit in detail bekeken zou moeten worden, wordt vooralsnog voorgesteld een druksterkte van een uit een immobilisaat geboorde cilinder (praktijkmonster) een minimaal van $0,4 \text{ N/mm}^2$ te eisen. Als gevolg van een betere verdichting liggen de druksterkten van de in het laboratorium bereide proefstukken een factor 2 à 3 hoger dan de druksterkten die in de praktijk met het zelfde mengsel gehaald worden. Daarom wordt voor proefstukken van een immobilisaat, die in het laboratorium verdicht en uitgehard zijn, voorgesteld om een druksterkte van minimaal $1,0 \text{ N/mm}^2$ (druksterkte na 28 dagen uitharding) te eisen.

Daarnaast is het belangrijk dat er geen ongewenste chemische processen in een stort plaatsvinden, die direct of indirect van invloed zijn op de uitloging van de immobilisaten. De uitloging mag in de tijd namelijk niet toenemen. Voorkomen moet worden dat bijvoorbeeld als gevolg van het desintegreren van een immobilisaat de uitloging in de tijd gaat toenemen. De matrix van cementgebonden materialen bestaat uit de cementsteen. De cementsteen lost langzaam op wanneer het in contact komt met een water, waarin agressieve componenten zoals zuur, kalkoplossend CO_2 , ammonium en magnesium voorkomen. Overmatige hoeveelheden van sulfaten geven aanleiding tot vorming van expansieve zouten, hetgeen kan resulteren in scheurvorming of zelfs desintegratie van de cementsteenstructuur. De mate van aantasting is afhankelijk van de concentratie van deze componenten, de contacttijd en de verversingsgraad van het agressieve water. Voor beton is de agressiviteit als functie van de concentratie goed bekend.

Oplossingen die voldoen aan:

- een pH > 6,5,
- een CO₂-concentratie < 15 mg/l,
- een ammonium-concentratie < 15 mg/l,
- een magnesiumconcentratie < 100 mg/l en
- een sulfaatconcentratie < 200 mg/l

blijken voor beton geen agressieve werking te hebben.

Verder kan een maximum eis gesteld worden aan het in het immobilisaat aanwezige gehalte aan afbreekbare organische stof (< 5%), om desintegratie en “facilitated” transport van verontreinigingen te voorkomen. Onder facilitated transport wordt verstaan het transport van niet of slecht oplosbare verontreinigingen, door enige vorm van interactie met relatief mobiele (organische) dragers.

In het volgende hoofdstuk wordt een voorstel besproken met betrekking tot de nog toegelaten belasting van de bodem als gevolg van het storten van geïmmobiliseerde afvalstoffen.

5. MAXIMAAL TOEGELATEN BELASTING

Binnen het milieubeleid worden regels opgesteld voor handelingen die leiden tot lokale verontreinigingen. Voor dergelijke activiteiten wordt bepaald in hoeverre belasting van het milieu toelaatbaar is.

In principe is een nul-emissie uit stortplaatsen het uitgangspunt. De huidige stand der techniek en de economische randvoorwaarden zijn nog niet zo ver dat dit principe gerealiseerd kan worden. De voorzieningen en maatregelen die behoren bij een minimaal beschermingsniveau zijn wettelijk geregeld in het Stortbesluit bodembescherming. In het RIVM-rapport, nr. 771401002, "Uitloging van zware metalen en anionen uit afvalstoffen in relatie tot bodem- en grondwaterbescherming; grenswaarden C₂-, C₃- en C₄-afvalstoffen" is berekend bij welke uitloging van gevaarlijke afvalstoffen dit minimale beschermingsniveau nog verantwoord is. De grenswaarden voor de uitloging van C₃-afvalstoffen zijn hiervan afgeleid en vermeld in de Grenswaardennotitie. Alle gevaarlijke afvalstoffen met een hogere uitloging dan de grenswaarde voor C₃-afvalstoffen worden gerekend tot de C₂-afvalstoffen.

Bij de introductie van de stortplaats voor geconditioneerd afval is door DGM gesteld dat de belasting van de bodem (immissie) bij deze stortplaats niet groter mag zijn dan die bij een stortplaats voor matig uitloogbaar gevaarlijk afval (C₃-stortplaats). Daarom zijn de grenswaarden voor een C₃-stortplaats op basis van de kolomtest (L/S=1) omgerekend naar een immisie.

Door DGM is voorgesteld om bij de berekening van de maximaal toegelaten immissie in periode van 10.000 jaar¹ in beschouwing te nemen. Een stortplaats is namelijk een eindbestemming van een afvalstof en zal in principe niet meer worden afgegraven. Door het definitieve karakter van de stortplaats ligt het voor de hand om een lange periode te beschouwen. In het Bouwstoffenbesluit is daarentegen bij de berekening van de toelaatbare belasting van de bodem is een periode van 100 jaar in beschouwing genomen, omdat een bouwwerk een beperkte levensduur heeft en na enige tijd weer afgebroken wordt om al dan niet plaats te maken voor een nieuw bouwwerk of voor een ander gebruik van de bodem.

Uitgaande van de maximaal toegelaten emissie's voor C₃-afval zijn de maximaal toegelaten immissies voor een C₃-stortplaats met een hoogte van 15 m en een infiltratie van 0,5 mm/jr berekend (tabel 2). Deze immissies zijn als uitgangspunt gehanteerd bij de berekening van de maximaal toelaatbare emissies uit geïmmobiliseerde afvalstoffen.

Chloride en bromide worden nauwelijks door de vaste bodem opgenomen en kunnen dus het grondwater direct belasten. Echter op plaatsen waar het grondwater van nature brak (Cl-gehalte > 5000 mg/l) is, zal er nauwelijks sprake meer zijn van een nadelig effect. De

¹ Voor de stoffen Br, Cl en SO₄ die niet of nauwelijks adsorberen aan de grond is voor een periode van 100 jaar gekozen.

immissie van chloride en bromide is dan verwaarloosbaar ten opzichte van de van nature aanwezige concentraties in het brakke grondwater. Daarom wordt voorgesteld om voor deze specifieke situatie geen emissie- of immissienormen voor chloride en bromide te stellen.

Tabel 2: Maximaal toelaatbare immissies.

Stof	C ₃ -afval	Grond	Grondwater
	Emissie (mg/kg) L/S=1 kolomproef	Immissie (mg/m ²) per 10000 jr	Immissie (mg/m ²) per 100 jr
As	9	45.500	
Ba	60	316.900	
Cd	0,2	1.200	
Co	6	32.300	
Cr	30	160.600	
Cu	10	55.400	
Hg	0,1	500	
Mo	3	17.100	
Ni	10	55.600	
Pb	25	138.100	
Sb	0,8	4.200	
Se	0,3	1.700	
Sn	6	32.100	
V	20	101.900	
W	0,5	2.650	
Zn	40	220.800	
Br	160 ¹		9.300 ¹
Cl	50.000 ¹		3.274.400 ¹
CN-complex	5	28.500	
CN-vrij	3	17.100	
F	280	1.514.000	
SO ₄	80.000		4.687.600

¹ Bij het storten van een afvalstof op stortplaatsen waar het grondwater van nature een chloride-gehalte heeft van meer dan 5000 mg/l, geldt voor bromide en chloride, in afwijking van de tabel, geen emissie- of immissiewaarden.

6. VAN IMMISSIE-NORMEN NAAR EMISSIE-NORMEN

6.1. Beschouwde stortsituatie

Bij het storten van afvalstoffen worden een tweetal fasen onderscheiden, nl:

- de exploitatiefase (0 - 30 jr)
- de nazorgfase (30 - 10000 jr).

Tijdens de eerste 30 jaren , de exploitatiefase, worden vormgegeven immobilisaten gestort in een speciaal daarvoor ingerichte stortplaats (compartiment), waarbij de immobilisaten gedurende deze fase blootgesteld worden aan regenwater (300 mm/jr). De lege ruimten (verticaal) tussen de vormgegeven immobilisaten worden opgevuld met materiaal met een goede (onverzadigde) doorlatendheid ($K=1000$ m/dag). Het door de stort gepercoleerde regenwater wordt door de onderafdichting (folie) opgevangen en vervolgens gereinigd. De geëmitteerde stoffen in het percolaat kunnen slechts de bodem belasten indien een lekkage van de onderafdichting (0.5 mm/jr) optreedt⁷. In de beschreven modelsituatie is de immissie in de bodem gedurende de exploitatiefase als gevolg van de getroffen voorzieningen verwaarloosbaar ($\ll 1$ %) t.o.v. de immissie gedurende de nazorgfase (zie Bijlage 1).

Omdat de afdichting aan de onderzijde van de stort op termijn - enkele tientallen jaren - minder goed zal functioneren wordt voor de nazorgfase (van 30 t/m 10000 jr) aangenomen dat de onderafdichting volledig faalt (worse-case), waardoor het nog aanwezige percolaat in de stort de bodem kan belasten.

Na de exploitatiefase wordt de stort afgedekt en duurzaam onderhouden, zodat er geen regenwater bij het geïmmobiliseerde afval kan komen. Slechts door een lekkage van de bovenafdichting (0,5 mm/jr) kan het afval nog bevochtigd worden.

6.2. Emissie- en immissie-oppervlak

Voor de berekening van de toelaatbare emissie is het oppervlak van het ontvangende compartiment waarvoor een toegelaten immissie is gedefinieerd van belang. Voor het storten van vormgegeven immobilisaten is het immissie-oppervlak (A_I) gedefinieerd als de som van het grondoppervlak van de stort (of compartiment) en de oppervlakten van de zijanten van de stort. Het emissie-oppervlak (A_E) is gedefinieerd als de som van de oppervlakten van de afzonderlijke te storten immobilisaten

Voorbeeld

In een compartiment (hoogte=15 m, lengte=50 m en breedte= 50 m) worden vormgegeven immobilisaten (hoogte=1 m, breedte=1 m en lengte=1 m) gestort. In totaal kunnen er $15*50*50= 37500$ immobilisaten gestort worden. Het emissie-oppervlak is in dit voorbeeld $37500*6 \text{ m}^2 = 225000 \text{ m}^2$. Het immissie-oppervlak is de som van het grondoppervlak ($50*50=2500 \text{ m}^2$) en het oppervlak van de zijanten van het compartiment ($4*(15*50) = 3000$

m²). Het immisie-oppervlak is in dit voorbeeld 2500+3000=5500 m².

6.3. Relatie tussen maximaal toegelaten immisie en de emissie gemeten met de diffusieproef

Bij de berekeningen van de maximaal toegelaten emissie is gesteld dat de emissie uit een geïmmobiliseerde afvalstof hoogstens een maximaal toegelaten immisie in de bodem mag veroorzaken. Aangezien in de beschreven modelsituatie de immisie in de bodem gedurende de exploitatiefase verwaarloosbaar (<< 1 %) is t.o.v. de immisie gedurende de nazorgfase (zie Bijlage 1), kan de relatie tussen de emissie uit de geïmmobiliseerde afvalstof en de immisie in de bodem met de volgende formules weergegeven:

$$I_{\max} = I_{ex.fase} + I_{nazorgfase} \approx I_{nazorgfase} \quad (1)$$

$$I_{\max} = I_{nazorgfase} = E_{nazorgfase} * \frac{A_E}{A_I} = (E_{10000jr} - E_{30jr}) * \frac{A_E}{A_I} \quad (2)$$

waarin:

A_E = emissie-oppervlakte (m²)

A_I = immisie-oppervlakte (m²)

I_{\max} = maximaal toegelaten immisie gedurende een periode van 10000 jaren (mg/m²)

$I_{ex.fase}$ = immisie gedurende de exploitatiefase 0-30 jr (mg/m²)

$I_{nazorgfase}$ = immisie gedurende de nazorgfase 30-10000 jr (mg/m²)

E_{30jr} = cumulatieve emissie na een periode van 30 jr (mg/m²)

$E_{10000jr}$ = cumulatieve emissie na een periode van 10000 jr (mg/m²)

Voor Cl, SO₄ en Br geldt dat de emissie gedurende het eerste 100 jaar van de nazorgfase hoogstens een maximaal toegelaten immisie in de bodem mag veroorzaken. De relatie tussen de emissie van Cl, SO₄ en Br uit de geïmmobiliseerde afvalstof en de immisie in de bodem kan met de volgende formule worden weergegeven:

$$I_{\max} = I_{ex.fase} + I_{nazorgfase} \approx I_{nazorgfase} = (E_{100jr} - E_{30jr}) * \frac{A_E}{A_I} \quad (3)$$

Voor de schatting van de emissie uit vormgegeven materialen gedurende de exploitatiefase en nazorgfase, wordt gebruik gemaakt van de diffusieproef volgens NEN 7345. Hiermee wordt de emissie over 64 dagen uit het materiaal bepaald. De emissie over 64 dagen dient vervolgens geëxtrapoleerd te worden naar een periode van 30 jr en vervolgens naar 100 jr resp. 10000 jr.

In deze paragraaf wordt een rekenwijze uitgewerkt voor de "vertaling" van de maximaal toegelaten bodembelasting (immisie) gedurende de nazorgfase, in een emissie over 64 dagen,

die in het laboratorium wordt bepaald. Hierbij is rekening gehouden met factoren, die de vertaling van de gemeten emissie in het laboratorium naar de feitelijke emissie in de praktijk situatie kunnen beïnvloeden. Deze factoren zijn : uitputting, veroudering, bevochtiging en het temperatuurverschil.

Met behulp van formule (2) kan de relatie tussen de maximaal toegelaten immissie en de cumulatieve emissies na 30 jr als volgt worden weergegeven:

$$I_{\max} = (E_{10000 \text{ jr}} - E_{30 \text{ jr}}) * \frac{A_E}{A_I}$$

$$\Rightarrow I_{\max} = ((f_{\text{ext,nazorg}} * E_{30 \text{ jr}}) - E_{30 \text{ jr}}) * \frac{A_E}{A_I} \quad (4)$$

$$E_{10000 \text{ jr}} = f_{\text{ext,nazorg}} * E_{30 \text{ jr}}$$

waarin:

$f_{\text{ext,nazorg}}$ = extrapolatiefactor van de $E_{30 \text{ jr}}$ naar $E_{10000 \text{ jr}}$ resp. $E_{100 \text{ jr}}$

Deze formule kan verder vereenvoudigd worden tot:

$$I_{\max} = E_{30 \text{ jr}} * (f_{\text{nazorgfase}} - 1) * \frac{A_E}{A_I} \quad (5)$$

De cumulatieve emissie na 30 jaar kan berekend worden door de emissie na 64 dagen te extrapoleren naar 30 jaar.

$$E_{30 \text{ jr}} = f_{\text{ext,exp}} * E_{64 \text{ dgn}} \quad (6)$$

waarin:

$f_{\text{ext,exp}}$ = extrapolatiefactor van de $E_{64 \text{ dgn}}$ naar $E_{30 \text{ jr}}$ (exploitatiefase)

$E_{64 \text{ dgn}}$ = cumulatieve emissie na 64 dgn (mg/m^2).

Uit formule (5) en (6) volgt:

$$I_{\max} = (f_{\text{ext,exp}} * E_{64 \text{ dgn}}) * (f_{\text{ext,nazorg}} - 1) * \frac{A_E}{A_I} \quad (7)$$

De bovenstaande formule is alleen geldig indien er geen temperatuursverschil zou bestaan tussen de diffusieproef en een stortplaats (praktijk). In het laboratorium wordt de diffusieproef uitgevoerd bij 20 °C. In de praktijk is de temperatuur ongeveer 10 °C. Daarom dient formule (7) nog te worden gecorrigeerd voor het temperatuursverschil.

$$I_{\max} = f_{temp} * f_{ext,exp} * E_{64dgn} * (f_{ext,nazorg} - 1) * \frac{A_E}{A_I} \quad (8)$$

waarin:

f_{temp} = correctiefactor voor het verschil in temperatuur tussen laboratorium en praktijk

De relatie tussen de emissie na 64 dagen, bepaald met diffusieproef, en de maximaal toegelaten immissie wordt met de volgende formule beschreven:

$$E_{64d} = \frac{I_{\max} * A_I}{f_{temp} * f_{ext,exp} * (f_{ext,nazorg} - 1) * A_E} = \frac{I_{\max} * A_I}{f_{temp} * f_{ext,stort} * A_E} \quad (9)$$

waarbij $f_{ext,stort}$ gedefinieerd is als:

$$f_{ext,stort} = f_{ext,exp} * (f_{ext,nazorg} - 1)$$

waarin:

$f_{ext,stort}$ = totale extrapolatiefactor van de E_{64dgn} bij diffusieproef naar $E_{10000jr}$ resp. E_{100jr} in een stortplaats.

Bij de berekening van de verschillende extrapolatie- en correctiefactoren is waar mogelijk de systematiek gevolgd, die gebruikt is bij de onderbouwing van het Bouwstoffenbesluit⁷.

6.3.1. Bevochtiging

6.3.1.1 Waterverzadiging opvulmateriaal

Tijdens een exploitatiefase van 30 jaren worden vormgegeven immobilisaten blootgesteld aan regenwater. Echter door de lege ruimten (verticaal) tussen de vormgegeven geïmmobiliseerde afvalstoffen op te vullen met materiaal met een goede (onverzadigde) doorlatendheid zullen de gestorte immobilisaten relatief droog blijven. Voor de nazorgfase wordt aangenomen dat de onderafdichting volledig faalt (worse-case) maar dat de infiltratie van regenwater wordt voorkomen door het aanbrengen van een bovenafdichting. In een stort geen sprake van nat/droog cycli en maar wel van een permanente (beperkte) vochtigheid. De mate van bevochtiging is berekend met behulp van het programma Hydrus-2D⁸. Bij deze berekening is het transport van het regenwater door een kolom (lengte=15 m) met een onverzadigde opvulmateriaal gedurende de exploitatie- en nazorgfase is gesimuleerd. Bij deze simulatie is

een materiaal (bijv. grind) met een doorlatendheid van 1000 m/dag in beschouwing genomen. De porositeit is hierbij op 0,4 gesteld. Gedurende de exploitatiefase (0 – 30 jr) is er gerekend met een percolatie van 300 mm/jr door de stort. Voor de nazorgfase (30 – 10000 jr) is aangenomen dat door het aanbrengen van een bovenafdichting de percolatie verlaagd wordt naar 0,5 mm/jr.

Uit de berekeningen blijkt dat het opvulmateriaal permanent een laag vochtgehalte heeft. Het model Hydrus-2D heeft berekend dat de waterverzadigingsgraad gedurende de exploitatiefase en nazorgfase een gemiddelde waarde heeft van 5% respectievelijk 1%. Dit houdt in dat slechts een klein deel van de poriën gevuld zijn met het percolerende water. Als gevolg hiervan zal ook slechts een klein deel van het oppervlak van het immobilisaat in contact zijn met het percolerende water en kan bijdrage aan het stoftransport naar de bodem. Daarom wordt voorgesteld om de gemeten emissie te corrigeren voor het contactoppervlak.

Bij een waterverzadigingsgraad van het opvulmateriaal van 100% zal het totale oppervlak van het immobilisaat in contact zijn met water. Bij een gelijkmatige verdeling van het water over het opvulmateriaal wordt aangenomen dat bij een waterverzadigingsgraad van 5% slechts 5% van het oppervlak van het immobilisaat een bijdrage levert aan het stoftransport naar de bodem. Het emissie-oppervlak van de immobilisaten voor de exploitatiefase is dan een factor 20 kleiner dan het emissie-oppervlak van het immobilisaat gedurende de diffusieproef, waar het totale oppervlak van het beproefde immobilisaat in contact is met water. Voor de nazorg fase is het emissie-oppervlak een factor 100 kleiner dan bij de diffusieproef.

Bij de berekening van de maximaal toegelaten emissie is daarom het emissie-oppervlak van de immobilisaten voor de exploitatiefase gecorrigeerd met een factor 20 en voor de nazorgfase met een factor 100.

6.3.1.2 Waterverzadiging immobilisaten

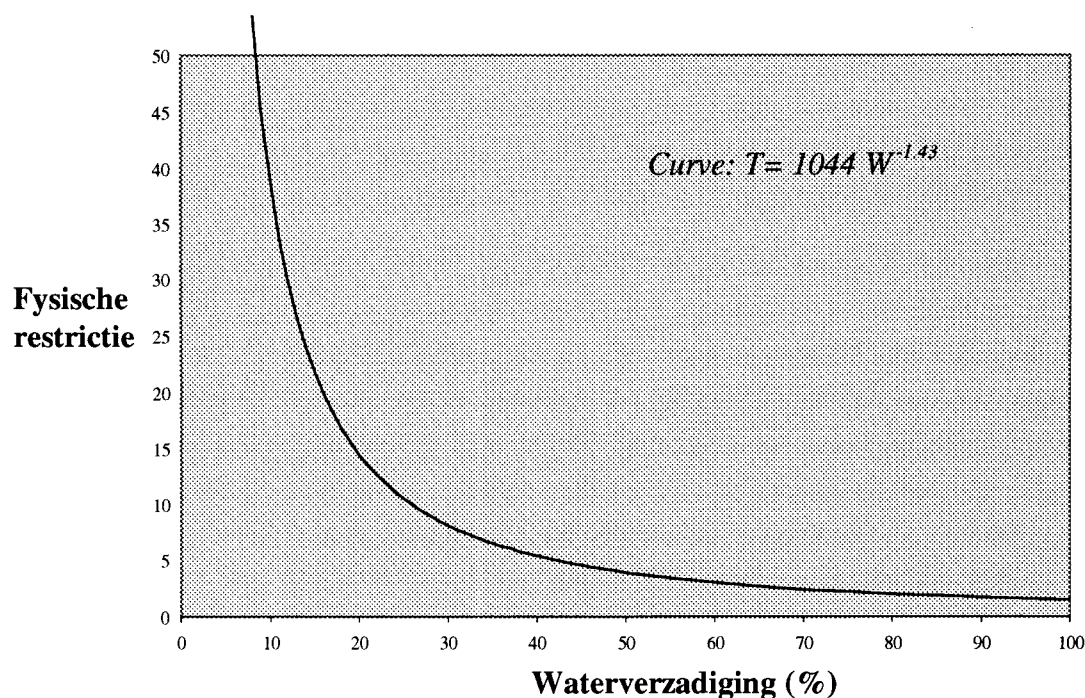
Na de uitharding van een immobilisaat zal het vochtgehalte van het immobilisaat afhangen van de geïmmobiliseerde afvalstof, de hoeveelheid en soort bindmiddelen, immobilisatieprocedé, etc. Voor een zandcement-stabilisatie bedraagt het vochtgehalte circa 7 % hetgeen overeenkomt met een waterverzadigingsgraad van circa 25%. Voor stabilisatie van een meer slibachtig materiaal is de waterverzadigingsgraad veel hoger (circa 95%).

Door de partiële verzadiging van de poriën neemt de mobiliteit af⁹ en zal er een diffusievertraging optreden in vergelijking met de diffusieproef waar de waterverzadiging 100% zal zijn (zie figuur 1). De relatie tussen de waterverzadigingsgraad (W) en de diffusievertraging (T, fysische restrictie) is door ECN beschreven als $T = 1044 * W^{-1,43}$.

Bij de correctie voor de waterverzadiging is gerekend met een gemiddelde waterverzadigingsgraad van 60% op t=0 jaar. De diffusievertraging bij 60% waterverzadiging is berekend op een factor van 3 ($T = 1044 * 60^{-1,43}$). Met andere woorden; bij

de correctie voor het verschil in waterverzadiging in het immobilisaat ten opzichte van de diffusieproef is gerekend met een diffusievertraging (fysische retentie) van 3.

Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat het vochtgehalte van de immobilisaten in evenwicht is en in de loop van de tijd niet noemenswaardig zal veranderen. Nader onderzoek is gewenst naar de vochthuishouding en het eventuele verloop van het vochtgehalte in de immobilisaten.



Figuur 1: Relatie tussen waterverzadiging en de fysische restrictie.

6.3.2. Veroudering

Er zijn aanwijzingen dat de diffusie in de loop van de tijd afneemt⁷ als gevolg van o.a. veroudering van een materiaal. Bij het verouderen van een materiaal kunnen de mechanismen carbonatatie en het oplossen van componenten een rol spelen. Carbonatatie heeft mogelijk een positieve invloed op de duurzaamheid van kalk en/of cementgebonden materialen. Carbonatatie resulteert in een verlaging van de zuurgraad van het poriënwater en kan dus van invloed zijn op de uitloging. Bij het oplossen van componenten (zouten) uit een materiaal kan de porositeit toenemen, hetgeen een negatieve invloed kan hebben op de diffusie.

Voor bouwstoffen is bij de correctie van de diffusie a.g.v. de veroudering is gerekend met een stijging van de negatieve logaritme van de effectieve diffusiecoëfficiënt van één pD_e -waarde in de beschouwde periode van 100 jaar. Ten aanzien van veroudering van het materiaal is er geen principieel verschil tussen een bouwstof en een geïmmobiliseerde afvalstof. Wel zou het

kunnen zijn dat carbonatatie-reacties in een stort minder snel verlopen, ten gevolge van een lagere CO₂-spanning. Hoewel dit in detail bekeken zou moeten worden, is vooralsnog gerekend met een stijging van de negatieve logaritme van de effectieve diffusiecoëfficiënt van één pD_e-waarde in de beschouwde periode van 10000 jaar.

6.3.3. Temperatuur

In het laboratorium wordt de diffusieproef uitgevoerd bij gemiddeld 20 °C. In de praktijk (stort) zal de temperatuur aanzienlijk lager zijn, waardoor de diffusie trager zal verlopen. Evenals bij bouwstoffen is bij de correctie voor het temperatuursverschil is gekozen voor een temperatuur in de praktijk (stort) van 10 °C en voor de temperatuur in het laboratorium van 20 °C. De emissie ten gevolge van diffusie bij 10 °C is circa 70% van de emissie bij een temperatuur van 20 °C⁷.

6.3.4. Uitputting

Gezien de grootte van de vormgegeven immobilisaten en de diffusievertraging a.g.v. de partiële waterverzadiging zal er in tegenstelling tot sommige bouwstoffen geen sprake zijn van uitputting binnen de termijn van 10000 jr. Hiervoor hoeft dus niet te worden gecorrigeerd.

6.3.5. Invulling van factoren

De getalsmatige invulling van de temperatuurscorrectie en de extrapolatiefactoren, die zijn gecorrigeerd voor waterverzadiging, veroudering en temperatuur, zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Extrapolatie- en correctiefactoren voor de omrekening van de maximaal toelaatbare immissies naar de maximaal toelaatbare emissies bij de diffusieproef (64 dgn).

	f_{temp}	$f_{ext,stort}$	=	$f_{ext,exp}$	*	$(1 - f_{ext,nazorg})$
Alle stoffen m.u.v. Cl, Br en SO ₄	0.7	0.79	=	0.37	*	(1 - 3.12)
Cl, Br en SO ₄	0.7	0.062	=	0.37	*	(1 - 1.166)

Met behulp van bovenstaande tabel en formule 9 kan de relatie tussen de emissie na 64 dagen, bepaald met diffusieproef, en de maximaal toegelaten immissie met de volgende formule worden beschreven:

$$E_{64d} = \frac{I_{max} * A_I}{f_{temp} * f_{ext,stort} * A_E} = 1,8 * \frac{I_{max} * A_I}{A_E} \tag{10}$$

Voor de stoffen Br, Cl en SO₄ geldt de volgende formule:

$$E_{64d} = \frac{I_{\max} * A_I}{f_{temp} * f_{ext, stort} * A_E} = 23,2 * \frac{I_{\max} * A_I}{A_E} \quad (11)$$

6.3.6. Maximaal toegelaten emissies

Met behulp van formule 10 en 11 zijn vervolgens de maximaal toegelaten immissies (tabel 1) omgerekend naar maximaal toegelaten emissies bij de diffusieproef voor het stort van immobilisaten met verschillende afmetingen in een stort (50*50*15). De maximaal toegelaten emissies voor deze situatie zijn weergegeven in tabel 4.

Opmerking

Ten behoeve van de “Europese richtlijn betreffende het storten van afvalstoffen” wordt op Europees nivo (CEN/TC 292/WG 2) momenteel een korte diffusieproef¹⁰ (25 uur) ontwikkeld voor de bepaling van emissie van vormgegeven afvalstoffen. Na het vaststellen van de Raad van de Europese Unie moet de Europese richtlijn, inclusief de ontwikkelde CEN-uitloogproeven binnen twee jaar in de nationale wetgeving zijn geïmplementeerd. Het implementeren van de korte diffusieproef heeft geen consequenties voor de beschreven methodiek voor omrekening van de maximaal toelaatbare immissies naar de maximaal toelaatbare emissies. Als gevolg van de korte duur van de Europese diffusieproef zullen de extrapolatiefactoren veranderen. De toelaatbare emissies bij de korte diffusieproef zullen dus ook lager zijn dan de maximaal toelaatbare emissies bij de huidige diffusieproef over 64 dagen.

Tabel 4: Maximaal toelaatbare emissies (mg/m^2) voor geïmmobiliseerde afvalstoffen bij diffusieproef (64 dgn).

Stof	Afmetingen van het immobilisaat (l*b*h)		
	1*1*1 m	3*3*1 m	5*5*1 m
As	2.013	3.624	4.314
Ba	14.038	25.269	30.082
Cd	52	94	112
Co	1.432	2.578	3.069
Cr	7.114	12.805	15.244
Cu	2.453	4.415	5.256
Hg	23	41	48
Mo	758	1.364	1.623
Ni	2.461	4.430	5.273
Pb	6.117	11.011	13.108
Sb	184	331	394
Se	74	133	159
Sn	1.421	2.559	3.046
V	4.511	8.120	9.667
W	117	211	251
Zn	9.778	17.601	20.953
Br	5.265	9.477	11.282
Cl	1.849.031	3.328.256	3.962.210
CN-complex	1.263	2.273	2.706
CN-vrij	758	1.364	1.623
F	67.058	120.705	143.696
SO ₄	2.647.046	4.764.682	5.672.241

6.4. Gevoeligheidsanalyse

Om enig inzicht te geven in de onzekerheid van de berekende toegelaten emissies is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor een aantal parameters. Deze parameters zijn:

- Doorlatendheid opvulmateriaal
- Waterverzadiging van het immobilisaat

De gepresenteerde normstelling is onder andere gebaseerd op een doorlatendheid van het opvulmateriaal van 1000 m/dag en een waterverzadiging van het immobilisaat van 60%. De volgende waarden voor de parameters zijn doorgerekend om de gevoeligheid per parameter te bepalen:

- Doorlatendheid van het opvulmateriaal: 500 en 1500 m/dag
- Waterverzadiging van het immobilisaat: 25% en 95%

In de onderstaande tabel is de invloed (%) op de maximaal toegelaten emissie, zoals vermeld in tabel 5 per parameter weergegeven.

Tabel 5: Gevoeligheidsanalyse van de toegelaten emissie voor geïmmobiliseerde afvalstoffen.

	Invloed (%)
Doorlatendheid 500/1500 m/dag	-13 % / 18 %
Waterverzadiging 25/95 %	87 % / -28 %

7. MILIEUHYGIENISCHE KWALITEIT VAN GEÏMMOBILISEERDE AFVALSTOFFEN

Voor de beschrijving van de milieuhygiënische kwaliteit van geïmmobiliseerde afvalstoffen is de uitloging van anorganische stoffen en de gehalten aan organische stoffen bepaald. De uitloging van de anorganische stoffen is bepaald met behulp van de kolomproef, de diffusieproef en de beschikbaarheidsproef.

Tevens zijn, waar mogelijk, druksterkte-bepalingen uitgevoerd.

7.1. Materiaal en methoden



7.1.1. Onderzochte materialen

Een aantal bedrijven/onderzoeksinstituten, die zich bezighouden met het immobiliseren van afvalstoffen, zijn benaderd om geïmmobiliseerde afvalstoffen en/of onderzoeksgegevens, welke reeds eerder zijn onderzocht, beschikbaar te stellen voor dit onderzoek. Afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid materiaal en onderzoeksgegevens is bepaald welke aanvullende proeven nog uitgevoerd zouden kunnen worden.

In tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de uitgevoerde proeven per geïmmobiliseerde afvalstof.

Tabel 6: Overzicht van de uitgevoerde proeven per immobilisaat.

Geïmmobiliseerde afvalstof	Org. samenst.	Beschikb. Proef	Kol.proef (L/S=1)	Kol.proef (L/S=10)	Diff. proef	Druksterkte
1. AVI-vliegas						
2. AVI-vliegas						
3. AVI-vliegas						
4. RGR-filterkoek						
5. RGR-filterkoek						
6. RGR-filterkoek						
7. RGR filterkoek						
8. RGR-filterkoek / AVI-vliegas						
9. RGR-filterkoek / AVI-vliegas						
10. RGR-filterkoek / AVI-vliegas						
11. Straalgritresidu						
12. Zuurteer						
13. Pigmentslib						
14. Pigmentslib						
15. Pigmentslib						
16. Pigmentslib						
17. Pigmentslib						
18. Fluorescentiepoeder						
19. Fluorescentiepoeder						
20. Fluorescentiepoeder						
21. Fluorescentiepoeder						
22. Fluorescentiepoeder						
23. M 2A						
24. M 4A						
25. M 8A						
26. M 10A						
27. Galvanoslib en galvan.						
28. Filterkoek en ONO-slib						
29. Metaalhydroxide-mengsel +						
30. Pigmentslib						
31. Filterstof Al-smelterij						
32. Pigmentslib						
33. AVI-vliegas + RGR						
34. Verontreinigde grond (Zn, As)						
35. Zinkslakken						
36. Onbekende afvalstof						
37. Zeefzand						

 Reeds door anderen uitgevoerd
 In kader van dit onderzoek uitgevoerd

7.1.2. Kolomproef

De kolomproeven tot L/S=10 zijn uitgevoerd overeenkomstig NEN 7343.

Bij deze uitloogproef wordt ca. 1 kg materiaal met korrels van maximaal 4 mm in een kolom in opwaartse richting doorstroomd met op pH=4 gebracht demiwater. Na filtratie over een 0.45 µm filter zijn 3 eluaatfracties (L/S=1, 2 en 10) verzameld. Na bepaling van de pH en geleidbaarheid zijn de eluaten t.b.v. de metalen met salpeterzuur op pH=2 en t.b.v. de cyanides op pH=11 geconserveerd.

7.1.3. Beschikbaarheidsproef

De beschikbaarheidsproeven zijn uitgevoerd volgens NEN 7341.

De beschikbaarheidsproef is opgebouwd uit twee extractiestappen. Voor de beschikbaarheidsproef wordt 16 gram van het gemalen materiaal gedurende 3 uur in een bekersglas geroerd met 800 ml gedemineraliseerd water (L/S=50), waarbij de pH van het extract door toevoeging van salpeterzuur constant op 7.0 wordt gehouden. Indien de pH zonder toevoeging van zuur lager is dan 7, wordt geen loog toegevoegd. Na drie uur wordt het extract gefiltreerd en het residue kwantitatief overgebracht in het bekersglas. Vervolgens wordt opnieuw 800 ml demiwater (L/S=50) aan het residue toegevoegd en gedurende drie uur geroerd bij een constante pH van 4.0 door toevoeging van HNO₃ (1 M). Na filtratie van het tweede extract zijn beide extracten afzonderlijk geanalyseerd op de in dit onderzoek betrokken elementen. Tevens zijn van elk extract de pH, geleidbaarheid en zuurverbruik bepaald.

7.1.4. Diffusieproef

De diffusieproeven zijn uitgevoerd overeenkomstig NEN 7345. Hierbij wordt het produkt, met bekend oppervlak, zodanig geplaatst in op pH=4 gebracht demiwater (volume ca. 5x dat van het produkt), dat het produkt aan alle zijden omringd is door de uitloogvloeistof. Op tijdstippen die cumulatief liggen op 0.25, 1, 2.25, 4, 8, 16, 32 en 64 dagen vanaf de start, worden de vloeistoffen bemonsterd en het produkt direct geplaatst in verse uitloogvloeistof. Na bepaling van pH en geleidbaarheid wordt de bemonsterde vloeistof gefiltreerd over een 0.45 µm filter en aangezuurd tot pH=2.

7.1.5. Analysemethoden

7.1.5.1 Anorganische stoffen

De extracten c.q. eluaten van de uitloogproeven zijn geanalyseerd op de stoffen As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, V, W, Zn, Br, Cl, F, SO₄, CN-complex en CN-vrij. Alle analyses zijn uitgevoerd nadat de percolaten c.q. eluaten van de uitloogproeven zijn gefiltreerd (0.45 µm) en geconserveerd.

ICP-AES

De meeste metalen (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, V, W en Zn) zijn geanalyseerd met ICP-AES. Gecombineerd met een ultrasoon verstuiver kunnen met ICP-AES voldoende lage concentraties worden gemeten. Het monster wordt door middel van ultrasone trilling verneveld en in het plasma van de ICP-AES geleid. De metalen in het monster gaan in het plasma van ca. 6000 K licht uitzenden. De golflengte van het uitgezonden licht is specifiek voor elk metaal. De methode is afgeleid van NEN 6426.

Hydride techniek

De metalen As, Sb, Se en Sn zijn bepaald met de hydride techniek. Door toevoegen van natriumboorhydride aan het monster, wordt het te meten element omgezet in een gasvormige hydride verbinding. Het hydride wordt uit de oplossing verdreven waarna de atomaire absorptie wordt gemeten. De methode is afgeleid van NEN 6432, 6433 en 6434.

Koude damp AAS

Kwik wordt bepaald met de koude damp AAS techniek na destructie van het monster met broom in zuur milieu. Hierbij wordt het kwik geoxideerd tot Hg (II). Met een flow injection systeem wordt het geoxideerde kwik met tin(II)chloride tot metallisch kwik gereduceerd en met behulp van een stikstofstroom in dampvorm door een cuvet geleid. De absorptie bij 253.7 nm wordt gemeten. De methode is conform NEN 6445.

Ionchromatografie

Met ionchromatografie zijn de anionen bromide, chloride, fluoride en sulfaat bepaald. De anionen worden gescheiden op basis van hun relatieve affiniteit voor een sterk basische anionen-wisselingskolom. De gescheiden anionen worden conductometrisch gedetecteerd en gekwantificeerd. De methode is afgeleid van NEN 6588.

Doorstroomanalyse

Cyanide-totaal en cyanide-vrij zijn bepaald met een autoanalyser conform NEN 6655. Voor bepaling van het totale gehalte cyanide wordt complex gebonden cyanide na een UV ontsluiting overgedestilleerd en fotometrisch bepaald. D.m.v een speciaal filter wordt het gehalte thiocynaat niet mee bepaald. Voor de bepaling van het gehalte cyanide-vrij wordt zinksulfaat toegevoegd, waardoor de complexgebonden cyaniden neerslaan. Analoog aan de cyanide-totaal bepaling wordt vervolgens het gehalte cyanide-vrij bepaald.

7.1.5.2 Organische stoffen

Voor de samenstelling van de geïmmobiliseerde afvalstoffen werden de organische stoffen PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen), PCB's (polychloorbifenylen), EOX (extraheerbare organohalogenen) en minerale olie.

T.b.v een goede monsterhomogeniteit voor de analyse van de organische stoffen werd het monster cryogeen vermalen (NEN 5730).

Microcoulometrie

De extraheerbare organische halogeen verbindingen (EOX) worden geëxtraheerd met petroleumether. Het geconcentreerde extract wordt in een microcoulometer geïnjecteerd, waarbij de aanwezige organohalogenen worden omgezet in overeenkomstige waterstofhalogeniden, die microcoulometrisch worden bepaald. Het resultaat wordt uitgedrukt in het gehalte EOCl. De methode is afgeleid van ontwerp-NEN 5735.

GC-MS

De niet-vluchtige organische verbindingen worden geëxtraheerd met dichloormethaan. Na concentrering van het extract worden de componenten met behulp van gaschromatografie gescheiden en met een massaspectrometer (GC-MS) gedetecteerd. Met GC-MS kan een groot scala aan verbindingen worden gedetecteerd en gekwantificeerd. Bepaald zijn PAK's en PCB's. Identificatie van de afzonderlijke verbindingen geschiedt middels vergelijking van het MS-spectrum van de verbinding met circa 75.000 organische verbindingen in de bibliotheek. De methode is afgeleid van EPA 625.

In tabel 7 staan de afzonderlijke verbindingen, die m.b.v. GC-MS zijn bepaald.

Tabel 7: Gerapporteerde verbindingen met GC-MS

VERBINDINGEN	
PAK's:	Naftaleen, fenanthreen, anthraceen, fluorantheen, pyreen, benzo(a)anthraceen, chryseen, benzo(a)fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen, indeno(123cd)pyreen
PCB's:	Nr's: 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

Gaschromatografie en infra rood

De minerale olie wordt geëxtraheerd met freon 113. Polaire stoffen worden uit het extract verwijderd door toevoeging van florasil. Het gehalte minerale olie is op twee verschillende analysetechnieken bepaald. De infra rood (IR) techniek conform NEN 6675 berekent het gehalte minerale olie aan de hand van de infra rood adsorptie van de koolstof-waterstof verbindingen. Met de GC techniek worden de niet-vluchtige koolwaterstoffen met gaschromatografie gescheiden en met een FID gedetecteerd. Het totaal aan koolstoffen met een ketenlengte tussen C₁₀ en C₄₀ wordt gerapporteerd. Verschillen tussen de IR en GC methode worden veroorzaakt door aanwezigheid van minerale olie met ketenlengte kleiner dan C₁₀ of groter dan C₄₀. De methode is afgeleid van ontwerp NEN 5733.

Het gehalte minerale olie werd standaard bepaald met infra rood NEN 6675. Resultaten groter dan 100 mg/kgds werden geverifieerd met gaschromatografie.

7.2. Resultaten

In tabel 8 t/m 12 wordt de druksterkte, de uitloging van anorganische stoffen en de gehalten aan organische stoffen van verschillende geïmmobiliseerde afvalstoffen weergegeven.

Tabel 8: Druksterkte (N/mm²)

Immobilisaat	Druksterkte (N/mm ²)
AVI-vliegas	n.v.t.
AVI-vliegas	
AVI-vliegas	20,6
RGR-filterkoek	n.v.t.
RGR-filterkoek	30
RGR-filterkoek	25,9
RGR-filterkoek	8
RGR-filterkoek/AVI-vliegas	niet meetbaar
RGR-filterkoek/AVI-vliegas	0,7
RGR-filterkoek/AVI-vliegas	1,4
RGR-filterkoek/AVI-vliegas	
Straalgritresidu	4,4
Straalgritresidu	4,2
Zuurteer	5
Zuurteer	4,8
Pigmentslib	0,1
Pigmentslib	0,1
Pigmentslib	1,1
Pigmentslib	0,7
Pigmentslib	0,7
Fluorescentiepoeder	9,6
Fluorescentiepoeder	9,6
Fluorescentiepoeder	4,1
Fluorescentiepoeder	9,4
Fluorescentiepoeder	13,4
M 2A	
M 4A	
M 8A	
M 10 A	
Galvanoslib + galv. filterkoek	2,9
Filterkoek + ONO-slib	3,1
Metaalhydr.mengsel + cake	
Pigmentslib	
Filterstof Al-smelterij	7,55
Pigmentslib	4,4
AVI-vliegas + RGR	1,4
Verontreinigde grond (As, Zn)	5,2
Grond met zinkslakken	5,1
Onbekend	
Zeezand	2,4

8. TOETSING KWALITEIT VAN IMMOBILISATEN AAN NORMEN UIT HET BOUWSTOFFENBESLUIT EN DE GRENSWAARDENNOTITIE

8.1. Bouwstoffenbesluit

Het uitlooggedrag van de anorganische stoffen en de samenstelling van de organische stoffen van de immobilisaten zijn vergeleken met de normen uit het Bouwstoffenbesluit. Hierbij is onderscheid gemaakt in de toepassing als niet-vormgegeven bouwstof en als vormgegeven bouwstof. Voor de toepassing als niet-vormgegeven bouwstof zijn de emissies van de immobilisaten, gemeten met de kolomproef ($L/S=10$), vergeleken met de normen van het Bouwstoffenbesluit. Voor de toepassing als vormgegeven bouwstof zijn de emissies gemeten met de diffusieproef vergeleken met de normen van het Bouwstoffenbesluit. In tabel 13 is per immobilisaat aangegeven in welke categorie het immobilisaat toegepast zou kunnen worden. Tevens zijn in deze tabel de zogenaamde kritische stoffen weergegeven. Bij deze vergelijking wordt een stof kritisch genoemd indien die stof de normwaarde voor categorie-2 toepassingen overschrijdt, en dus verantwoordelijk kan zijn voor de toewijzing aan een categorie “niet toepasbaar”.

Uit tabel 13 blijkt dat geen van de onderzochte immobilisaten voldoet aan de normen voor een categorie-1 toepassing voor bouwstoffen. Slechts enkele immobilisaten voldoen als niet-vormgegeven en/of vormgegeven bouwstof aan de normen voor een categorie-2 toepassing. Vooral de anionvormende elementen Mo, Br, en Cl blijken niet zodanig geïmmobiliseerd te kunnen worden met de verschillende technieken dat de uitloging van deze elementen voldoet aan de normen van het Bouwstoffenbesluit.

Alle niet als bouwstof toepasbare immobilisaten zouden gestort moeten worden. In de volgende paragraaf wordt aan de hand van de milieuhygiënische kwaliteit nagegaan in welke categorie (C_2 of C_3) de immobilisaten gestort zouden mogen worden.

Tabel 13: Toepasbaarheid van geïmmobiliseerde afvalstoffen als niet-vormgegeven en/of vormgegeven bouwstof

Geïmmobiliseerde afvalstof	Niet-vormgegeven bouwstof		Vormgegeven bouwstof	
	Categorie	Kritische stoffen	Categorie	Kritische stoffen
1. AVI-vliegas	Niet toep.	Cd, Mo, Br, Cl	Niet toep.	Cd,Mo,Sb,Se,Sn,Br,Cl,SO4
2. AVI-vliegas	Niet toep.	Cd, Mo, Se, Br, Cl	n.a.	
3. AVI-vliegas	Niet toep.	Cd, Mo, Se, Br, Cl	Niet toep.	Cd, Sb, Mo,Br, Cl, SO4
4. RGR-filterkoek	Niet toep.	Cd, Mo, Sb, Br, Cl	n.a.	
5. RGR-filterkoek	Niet toep.	Mo, Br, Cl	Niet toep.	Br, Cl, SO4
6. RGR-filterkoek	Niet toep.	Mo, Ni, Br	Niet toep.	Br, Cl, SO4
7. RGR filterkoek	Niet toep.	Mo, Br, Cl	Niet toep.	Br, Cl, SO4
8. RGR-filterkoek / AVI-vliegas	Niet toep.	Cd, Mo, Br, Cl	n.a.	
9. RGR-filterkoek / AVI-vliegas	Niet toep.	Mo, Pb, Br, Cl	n.a.	
10. RGR-filterkoek / AVI-vliegas	Niet toep.	Cd, Mo, Br, Cl	Niet toep.	Br, Cl, SO4
11. Straalgritresidu	Niet toep.	Cu, Mo, PAK, EOCL,Min.olie	Niet toep.	PAK, EOCL, Min.olie
12. Zuurteer	Niet toep.	Min.olie	Niet toep.	Min. olie
13. Pigmentslib	Niet toep.	EOCL	Niet toep.	EOCL
14. Pigmentslib	Niet toep.	Cd, Mo, Br, Cl	Niet toep.	Mo, V
15. Pigmentslib	Niet toep.	Hg, Mo, Sb, Br, Cl	Niet toep.	Mo
16. Pigmentslib	Niet toep.	Mo, Cl	Niet toep.	Mo, V
17. Pigmentslib	Niet toep.	Mo, Cl	Niet toep.	Mo
18. Fluorescentiepoeder	n.a.		n.a.	
19. Fluorescentiepoeder	Niet toep.	Hg, Mo, Sb, Br	Niet toep.	Hg, Sb
20. Fluorescentiepoeder	Niet toep.	Hg, Mo, Sb, Br, CN-v, CN-c	Niet toep.	Hg, Sb
21. Fluorescentiepoeder	Niet toep.	Hg,	Niet toep.	Hg
22. Fluorescentiepoeder	Niet toep.	CN-vrij	Niet toep.	Sb
23. M 2A	Niet toep.	Ba, Mo, Pb, Br, Cl	Niet toep.	Ba, Mo, Pb, Br, Cl
24. M 4A	Niet toep.	Ba, Mo, Pb, Br, Cl	Niet toep.	Ba, Mo, Br, Cl
25. M 8A	Niet toep.	Br	Niet toep.	Br
26. M 10A	Niet toep.	Br	Niet toep.	Br
27. Galvanoslib en galvan.	Niet toep.	Cu, Mo,Ni,Cl, EOCL,Min.olie	Niet toep.	Cu,Mo,Cl,SO4,EOCL, Min.ol
28. Filterkoek en ONO-slib	Niet toep.	Mo, Ni, Cl, EOCL, Min.olie	Niet toep.	Mo, Cl, EOCL, Min.olie
29. Metaalhydroxide-mengsel +	Niet toep.	Mo, Br, Cl	Niet toep.	Mo, Cl
30. Pigmentslib	Niet toep.	Cr, Mo, Sb, Br, Min.olie	Niet toep.	Cr, Sb, Br, Cl, Min.olie
31. Filterstof Al-smelterij	Niet toep.	Cu, Mo, Sb, Se Br	Niet toep.	Sb, Br, Cl
32. Pigmentslib	Niet toep.	Cr, Mo, Br, Min.olie	Niet toep.	Cr, Mo, Cl, Min.olie
33. AVI-vliegas + RGR	Niet toep.	Cd, Se, Br, Cl	Niet toep.	Se, Br, Cl
34. Verontreinigde grond (Zn, As)	Cat. 2		Cat. 2	
35. Zinkslakken	Cat. 2		Niet toep.	Hg, Zn
36. ????????	Niet toep.	PAK	Niet toep.	PAK
37. Zeefzand	Cat. 2			

cat.2 : Categorie 2-toepassing voor bouwstoffen; geïsoleerde toepassing, die boven het grondwater ligt en niet vrij toegankelijk is voor hemel- en grondwater

Niet toep. : Niet toepasbaar als bouwstof, omdat milieuhygiënische kwaliteit niet voldoet aan normen Bouwstoffenbesluit.

n.a. : Toepasbaarheid als bouwstof is onbekend a.g.v. ontbrekende gegevens.

8.2. Grenswaardenwaarden stortplaatsen

De uitloging van de immobilisaten, gemeten met de kolomproef ($L/S=1$), is vergeleken met de U1-grenswaarden voor C_3 -afvalstoffen en de uitloging, gemeten met de diffusieproef, met de voorgestelde maximaal toegelaten emissie (tabel 3) voor een immobilisaat ($1*1*1$) die gestort wordt op een stortplaats met de afmetingen $l=50$ m, $b=50$ m en $h=15$.

Geïmmobiliseerde afvalstoffen, waarvan de uitloging voldoet aan de voorgestelde maximaal toelaatbare emissie, vallen in een (nog) niet bestaande stortcategorie voor geconditioneerde afvalstoffen $C_{\text{geond.afval}}$. De geïmmobiliseerde afvalstoffen die niet voldoen, zijn toegewezen aan de stortcategorie C_2 .

De uitloging van strontium (Sr) is bij deze vergelijking buiten beschouwing gelaten, omdat de grenswaarden voor dit element bij de actualisatie van de "Grenswaardennotitie, storten gevaarlijk afval" komt te vervallen.

In tabel 14 is aangegeven in welke stortcategorie de immobilisaten vallen. Tevens zijn in deze tabel de kritische stoffen weergegeven. Bij deze vergelijking wordt een stof kritisch genoemd indien die stof de U1-grenswaarde c.q. de voorgestelde grenswaarde voor geïmmobiliseerde afvalstoffen overschrijdt, en dus verantwoordelijk kan zijn voor de toewijzing aan een stortcategorie C_2 .

Tabel 14: Stortcategorieën voor de onderzochte immobilisaten (1*1*1)

Geïmmobiliseerde afvalstof	Stortcategorie volgens Grenswaardennotitie (getest als granulaat)		Stortcategorie volgens voorgestelde grenswaarden voor vormgegeven immobilisaat (1*1*1) (tabel 3)		Stortcategorie volgens voorgestelde grenswaarden voor vormgegeven immobilisaat (3*3*3) (tabel 3)	
	Categorie	Kritische stoffen	Categorie	Kritische stoffen	Categorie	Kritische stoffen
1. AVI-vliegas	C ₂	Br, Cl	C ₂	Br, Cl	C ₂	Br
2. AVI-vliegas	C ₂	Cd, Br, Cl	n.a.		n.a.	
3. AVI-vliegas	C ₂	Cd, Br, Cl	C ₂	Br	C _{gecond.afval}	
4. RGR-filterkoek	C ₃		n.a.		n.a.	
5. RGR-filterkoek	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
6. RGR-filterkoek	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
7. RGR filterkoek	C ₃		n.a.		n.a.	
8. RGR-filterkoek / AVI-vliegas	C ₂	Cd, Br, Cl	n.a.		n.a.	
9. RGR-filterkoek / AVI-vliegas	C ₂	Mo, Br	C ₂	Br	C ₂	Br
10. RGR-filterkoek / AVI-vliegas	n.a.		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
11. Straalgritresidu	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
12. Zuurteer	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
13. Pigmentslib	n.a.		n.a.		n.a.	
14. Pigmentslib	C ₂	Mo, Cl	C ₂	Mo, W	C ₂	W
15. Pigmentslib	C ₂	Hg, Mo, W	C ₂	W	C _{gecond.afval}	
16. Pigmentslib	C ₂	W	C ₂	W	C _{gecond.afval}	
17. Pigmentslib	C ₂	Hg, W	C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
18. Fluorescentiepoeder	n.a.		n.a.		n.a.	
19. Fluorescentiepoeder	C ₂	Hg, W	C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
20. Fluorescentiepoeder	C ₂	Hg, Sb, W	C ₂	Hg	C _{gecond.afval}	
21. Fluorescentiepoeder	C ₂	W	C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
22. Fluorescentiepoeder	C ₂	W	C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
23. M 2A	C ₂	Mo, Br	C ₂	Br, Cl	C ₂	Br
24. M 4A	C ₂	Br	C ₂	Br	C ₂	Br
25. M 8A	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
26. M 10A	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
27. Galvanoslib en galvan.	C ₂	Cu, Mo, W	C ₂	Mo, W	C ₂	Mo, W
28. Filterkoek en ONO-slib	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
29. Metaalhydroxide-mengsel +	C ₂	W	C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
30. Pigmentslib	C ₂	Cr, Mo, W	C ₂	Cr	C ₂	Cr
31. Filterstof Al-smelterij	C ₂	W	C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
32. Pigmentslib	C ₂	Cr, Mo	C ₂	Cr, Mo	C ₂	Mo
33. AVI-vliegas + RGR	C ₂	Se, Cl	C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
34. Verontreinigde grond (Zn, As)	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
35. Zinkslakken	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
36. ????????	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	
37. Zeefzand	C ₃		C _{gecond.afval}		C _{gecond.afval}	

C₂ : een aangelegde en gecontroleerde plaats op land waar C₂-afvalstoffen gestort mogen worden, voorzien van onder- en bovenafdichting (afdak) met lage faalkans teneinde percolaatvorming te voorkomen (droge stortplaats).

C₃ : een aangelegde en gecontroleerde plaats op land waar C₃-afvalstoffen gestort mogen worden, voorzien van onderafdichting

C_{gecond.afval} : een aangelegde en gecontroleerde stortplaats of een compartiment van een stortplaats, voorzien van onderafdichting, waar geconditioneerde afvalstoffen, die voldoen aan voorgestelde maximaal toelaatbare emissies, gestort kunnen worden.

n.a. : Stortcategorie is onbekend a.g.v. ontbrekende gegevens.

Uit tabel 14 blijkt dat het beproeven van de geïmmobiliseerde afvalstof als vormgegeven materiaal met de diffusieproef en het toetsen aan de voorgestelde maximaal toegelaten emissies resulteert voor een aantal afvalstoffen in een lichter stortregime (van C_2 naar $C_{\text{gecond.afval}}$). Voor andere blijken vooral de stoffen Cr, Mo, W en Br nog kritisch te zijn voor het storten in een lichter stortregime.

9. CONCLUSIES

Op grond van het uitgevoerde onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij het hanteren van de voorgestelde immissie-normen, de daarbij behorende formules en de aanvullende eisen aan de stortplaatsen voor te storten immobilisaten kan de bodem worden beschermd op het nivo van de streefwaarde bodemkwaliteit. De invloed van de immobilisaten in stortplaatsen op de bodem en grondwater is dan vergelijkbaar met die bij het storten van afvalstoffen op een C_3 -stortplaats.
- Geen van de onderzochte immobilisaten voldoet aan de normen voor een categorie-1 toepassing voor bouwstoffen. Slechts enkele immobilisaten voldoen als niet-vormgegeven en/of vormgegeven bouwstof aan de normen voor een categorie-2 toepassing. Vooral de anionvormende elementen Mo, Br, en Cl kunnen niet voldoende geïmmobiliseerd worden zodat de uitloging van deze elementen voldoet aan de normen van het Bouwstoffenbesluit.
- Een beoordeling van immobilisaten met de diffusieproef, waarbij het immobilisaat intact blijft, en de voorgestelde maximaal toelaatbare emissies zal voor een aantal afvalstoffen resulteren in een lichter stortregime (van C_2 naar $C_{\text{gecond.afval}}$).

LITERATUUR

- 1 Stortbesluit bodembescherming, Staatsblad nr. 55, 1993.
- 2 Grenswaardennotitie, storten gevaarlijk afval VROM/DGM, mei 1993.
- 3 Immobilisatie van afvalstoffen; onderzoeksprogramma T2000, Coopers & Lybrand Civi Consultancy / TNO Instituut voor Milieu- en Energietechnologie, in opdracht van VROM, 1993.
- 4 Beoordeling van immobilisaten. Een voorstel voor testmethoden en criteria, CUR-rapport93-6, CUR, Gouda 1993.
- 5 Visie op stortplaatscategorieën, 20 februari 1997, VROM.
- 6 Handleiding voor het beoordelen van immobilisaten, CUR-rapport 183, CUR, december 1995.
- 7 Aalbers, Th.G., Uitloging van zware metalen en anionen uit afvalstoffen in relatie tot bodem- en grondwater bescherming, RIVM-rapportnr. 771401002, februari 1992.
- 8 Simunek, J., Senja, M. , Genuchten, Th. van, HYDRUS-2D, Simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media, IGWMC-TPS 53, version 1.0, january 1996.
- 9 Sloot, van der H.A., D. Hoede, Schattingen van de emissie vanuit wegenbouw toepassingen met secundaire materialen na ca. 10 jaar blootstelling aan uitloging in de praktijk; Fase I - deel 1, ECN-C--93-073, mei 1994.
- 10 Draft compliance test for leaching monolithic materials of regular shape, CEN/TC292/WG2 DOC 78 rev 2, November 1996

BIJLAGE 1: EMISSIE NAAR DE BODEM GEDURENDE DE EXPLOITATIEFASE

Tijdens eerste 30 jaren (de exploitatiefase) worden vormgegeven immobilisaten gestort in een daarvoor ingerichte stortplaats, die voorzien is van een onderafdichting. Gedurende de exploitatiefase worden de immobilisaten blootgesteld worden aan regenwater. Het door de stort gepercoleerde regenwater wordt opgevangen en vervolgens gereinigd. de geëmitteerde stoffen in het percolaat kunnen slechts de bodem belasten indien er een lekkage optreedt. Om deze belasting van de bodem te berekenen dient eerst de omvang van een lekkage te worden ingeschat.

Bij een onderafdichting van folie kunnen lekkages veroorzaakt worden door niet opgemerkte fabrikagefouten, defecten in naadlassen, schade bij het plaatsen, etc. De kans dat een lekkage optreedt is echter moeilijk te voorspellen. Bij de onderbouwing van de emissie-grenswaarden voor C₃-afvalstoffen is ervan uitgegaan dat gedurende de exploitatiefase slechts een lekkage van 0.5 mm/jr zal plaatsvinden. Daarnaast werd voor Nederland een netto percolaatproductie berekend van rond de 300 mm/jr.

Uitgaande van deze getallen blijkt dat slechts een klein deel van het percolaat (0.5/300) gedurende de exploitatiefase de bodem kan belasten. De immissie in de bodem gedurende de exploitatiefase (0 - 30 jr) kan als volgt geformuleerd worden:

$$I_{30\text{ jr}} = \left(\frac{0.5}{300}\right) * E_{30\text{ jr}} = 0.00167 * E_{30\text{ jr}} \quad \text{I}$$

De immissie in de bodem gedurende de nazorgfase (30 - 10000 jr) kan als geformuleerd worden:

$$\begin{aligned} I_{30-10000\text{ jr}} &= E_{10000\text{ jr}} - E_{30\text{ jr}} \\ \Rightarrow I_{30-10000\text{ jr}} &= (f_{\text{ext,nazorg}} * E_{30\text{ jr}}) - E_{30\text{ jr}} \quad \text{II} \\ E_{10000\text{ jr}} &= f_{\text{ext,nazorg}} * E_{30\text{ jr}} \end{aligned}$$

waarin:

$f_{\text{ext,nazorg}}$ = extrapolatiefactor van de $E_{30\text{ jr}}$ naar $E_{10000\text{ jr}}$

Deze formule kan verder vereenvoudigd worden tot:

$$I_{30-10000\text{ jr}} = E_{30\text{ jr}} * (f_{\text{ext,nazorg}} - 1) \quad \text{III}$$

De extrapolatiefactor $f_{\text{ext,nazorg}}$ is 3.12 (tabel 2). Hierdoor kan de immissie gedurende de nazorgfase als volgt worden geformuleerd:

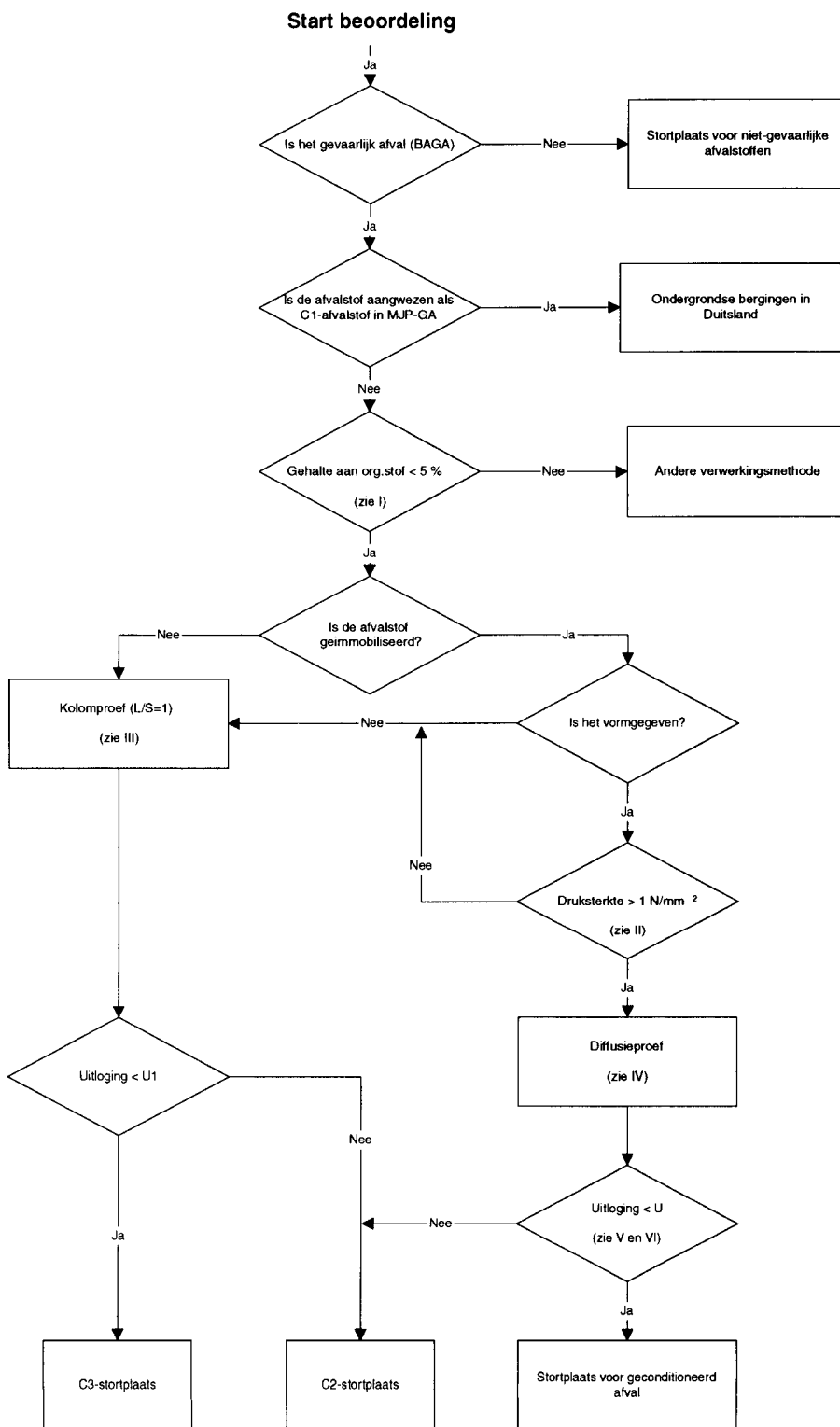
$$I_{30-100 jr} = 2.12 * E_{30 jr}$$

IV

Uit de vergelijking tussen formule I en IV kan geconcludeerd worden dat de immissie in de bodem gedurende de exploitatiefase verwaarloosbaar ($\ll 1\%$) is t.o.v. de immissie gedurende de nazorgfase.

BIJLAGE 2: INDELING VAN TE STORTEN AFVALSTOFFEN

In onderstaande figuur wordt schematisch de beoordeling van te storten afvalstoffen weergegeven. In dit schema wordt met Romeinse cijfers verwezen naar de te hanteren methode.



METHODEN

I Bepaling van het gehalte aan organische stof

Organische stof komt in veel vormen in afvalstoffen voor. Vooral de fractie die wordt aangeduid als “verteerbaar” koolstof heeft vaak een negatieve invloed op de fysisch-mechanische eigenschappen van immobilisaten. De min of meer inerte vormen, als grafiet, cokes en actieve kool, hebben weinig invloed. Een deel van de verteerbare organische fractie is uitloogbaar. Opgeloste organische stof kan de uitloging van metalen en organische microverontreinigingen laten toenemen.

Er zijn geen gestandaardiseerde methoden beschikbaar voor de bepaling van het verteerbare organische stof. Daarom wordt voorgesteld voor de bepaling van het (afbreekbare) organische stof voorlopig NEN 6620 (gloeirest) te hanteren.

II Bepaling van de druksterkte

De bepaling van de druksterkte van de proefstukken na een uitharding van 28 dagen dient te worden uitgevoerd volgens ontwerp NEN-EN 12394:1996 (vervangt NEN 5968:1988). Bij de bepaling dient in afwijking van de genoemde NEN-norm de druktoename $0,10 \pm 0,02 \text{ N/mm}^2$ per seconde te zijn. Rapporteer de gemeten druksterkte met een nauwkeurigheid van $0,1 \text{ N/mm}^2$.

III Bepaling van de uitloging m.b.v. de kolomproef (L/S=1)

De kolomproef dient te worden uitgevoerd overeenkomstig NEN 7343.

Bij deze uitloogproef wordt ca. 1 kg materiaal met korrels van maximaal 4 mm in een kolom in opwaartse richting doorstroomd met op pH=4 gebracht demiwater. Na filtratie over een $0,45 \mu\text{m}$ filter wordt in afwijking van NEN 7343 slechts 1 eluaatfractie (L/S=1) verzameld. Na bepaling van de pH (conform NEN 6411) wordt het eluaat t.b.v. de metalen met salpeterzuur op pH=2 en t.b.v. de cyanides op pH=11 geconserveerd.

Bereken de cumulatieve emissie (L/S=1) volgens NEN 7343 en vergelijk de berekende emissie en de gemeten pH in het eluaat met de normen.

IV Bepaling van de uitloging m.b.v. de diffusieproef

De diffusieproeven dient te worden uitgevoerd overeenkomstig NEN 7345:1995. Hierbij wordt het proefstuk, met bekend oppervlak, zodanig geplaatst in op pH=4 gebracht demiwater (volume ca. 5x dat van het proefstuk), dat het proefstuk aan alle zijden omringd is door de uitloogvloeistof. Op tijdstippen die cumulatief liggen op 0,25, 1, 2,25, 4, 9, 16, 36 en 64 dagen vanaf de start, worden de vloeistoffen bemonsterd en het proefstuk direct geplaatst in verse uitloogvloeistof. Na bepaling van pH (conform NEN 6411) wordt de bemonsterde vloeistof gefiltreerd over een $0,45 \mu\text{m}$ filter en t.b.v. de metalen met salpeterzuur op pH=2 en t.b.v. de cyanides op pH=11 geconserveerd. Bereken de cumulatieve emissie (64 dgn) volgens

NEN 7345 en vergelijk de berekende emissie en de gemiddelde pH in de uitloogvloeistof met de normen.

V Bepaling van totale emissie- en immissie-oppervlak

Voor de berekening van de toelaatbare emissie is het oppervlak van het ontvangende compartiment waarvoor een toegelaten immissie is gedefinieerd van belang. Voor het storten van vormgegeven immobilisaten is het immissie-oppervlak (A_I) gedefinieerd als de som van het grondoppervlak van de stort (of compartiment) en de oppervlakten van de zijkanten van de stort. Het emissie-oppervlak (A_E) is gedefinieerd als de som van de oppervlakten van de afzonderlijke te storten immobilisaten

Voorbeeld

In een compartiment (hoogte=15 m, lengte=50 m en breedte= 50 m) worden vormgegeven immobilisaten (hoogte=1 m, breedte=1 m en lengte=1 m) gestort. In totaal kunnen er $15 \cdot 50 \cdot 50 = 37500$ immobilisaten gestort worden. Het emissie-oppervlak is in dit voorbeeld $37500 \cdot 6 \text{ m}^2 = 225000 \text{ m}^2$. Het immissie-oppervlak is de som van het grondoppervlak ($50 \cdot 50 = 2500 \text{ m}^2$) en het oppervlak van de zijkanten van het compartiment ($4 \cdot (15 \cdot 50) = 3000 \text{ m}^2$). Het immissie-oppervlak is in dit voorbeeld $2500 + 3000 = 5500 \text{ m}^2$.

VI Bepaling van de maximaal toelaatbare emissie voor een specifieke stortplaats

Aan de hand van de maximaal toegelaten immissies, het berekende emissie- en immissie-oppervlak kan de maximaal toegelaten emissies bij de diffusieproef worden berekend volgens:

$$E_{\max,64d} = 1,8 * \frac{I_{\max} * A_I}{A_E}$$

Voor de stoffen Br, Cl en SO₄ geldt de volgende formule:

$$E_{\max,64d} = 23,2 * \frac{I_{\max} * A_I}{A_E}$$

waarin:

$E_{\max,64d}$ = cumulatieve emissie bij de diffusieproef na 64 dagen (mg/m^2)

I_{\max} = maximaal toegelaten immissie (mg/m^3)

A_E = emissie-oppervlakte (m^2)

A_I = immissie-oppervlakte (m^2)