TNO-rapport
TNO-MEP – R 2000/366

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

Beoordeling van de gelijkwaardigheid van de toepassing van Geologger® als dichte eindafwerking van een stortplaats

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet: www.mep.tno.nl

Datum
oktober 2000

Auteur(s)
Drs. A.B.M. Stax
M.Th. Logtenberg M.Phil

Projectnummer
31651

Trefwoorden
- stortplaats
- stortbesluit
- gelijkwaardigheid
- bodembescherming
- milieu
- risicoanalyse
- eindafwerking
- FMECA

Bestemd voor
Enviro Advice BV
Dukatenburg 78
3430 JC Nieuwegein
www.enviro.nl

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2000 TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage

Inhoudsopgave

1. Inleiding 5
1.1 Achtergronden van het project 5
1.2 Doelstelling 5
1.3 Uitvoering van het project 6
1.4 Opbouw van het rapport 6
1.5 Begeleidingscommissie 7

2. Beschrijving van het systeem Geologger 9
2.1 Beschrijving van het systeem Geologger 9
2.2 IJking van de gegevens 10
2.3 Op en om de stortplaats 11

3. Beschermingsniveau en gelijkwaardigheid 13
3.1 Beschouwing inzake het beschermingsniveau 13
3.1.1 Factoren die het beschermingsniveau bepalen 13
3.1.2 Communicerende vaten 14
3.1.3 Voorzieningen versus maatregelen 15
3.2 Van toepassing zijnde regelgeving 16
3.2.1 Overzicht van de regelgeving 16
3.2.2 Kwantitatieve zin 17
3.2.3 Kwalitatieve zin 19
3.2.4 Vertaling van de norm naar Geologger 19
3.2.5 Uitwerking van gelijkwaardigheid 20
3.3 Stand der techniek 21

4. Eigenschappen van de Geologger-afdichtingsconstructie 23
4.1 Inleiding 23
4.2 Ondoorlatendheid 23
4.2.1 Lekkage die inherent is aan het ontwerp van het afdichtingssysteem 23
4.2.2 Betrouwbaarheid van het Geologger-systeem 25
4.2.3 Uitvoering van de organisatorische maatregelen 26
4.3 Duurzaamheid 27
4.3.1 Onderdelen van het systeem 27
4.3.2 Duurzaamheid van het systeem 29
4.3.3 Faalmechanismen 30
4.3.4 Aanleg van het systeem 31
4.4 Functionaliteit 31

5. Toetsing van gelijkwaardigheid op een stortplaats 33
5.1 Randvoorwaarden voor de toetsing 33

5.2 Overzicht 33
5.3 Belangrijkste verschillen 35

6. Eindoordeel over de gelijkwaardigheid 37
6.1 Het begrip gelijkwaardigheid 37
6.2 Betrouwbaarheid van het systeem 37
6.3 Gelijkwaardigheid 38
6.4 Handvatten voor de nazorg 38

7. Literatuur 39

8. Verantwoording 41

Bijlagen

1 Berekeningen lekkage door folie-afdichting
2 Bepalen van de snelheid van ingrijpen
3 FMECA van Geologger
4a Beschrijving stortplaats Schoteroog
4b Beschrijving stortplaats Het Friese Pad
5 Stellungnahme zum Geologger (BAM, 22 juni 1994)
6 Foto’s veldbezoek Münchehagen (16 augustus 2000)
7 Overzicht van stortplaatsen waar Geologger is gerealiseerd

1. Inleiding

1.1 Achtergronden van het project

In Nederland moeten stortplaatsen voldoen aan de regelgeving volgens het Stortbesluit Bodembescherming. Het Stortbesluit schrijft voor dat een stortplaatsen voorzien moeten zijn van een onder- en een bovenafdichting. De afdichtingen hebben tot doel de bodem te beschermen tegen verontreiniging, afkomstig uit de afvalstoffen.
Aan de afdichting is in de regelgeving als eis gesteld dat ze conform de stand der techniek, zo goed mogelijk water moeten tegenhouden. Er mag dus zo min mogelijk water ín de stort komen via de bovenafdichting en er mag zo min mogelijk water uít de stort via de onderafdichting.

Hiervoor zijn in de regelgeving middelvoorschriften opgenomen. De middelvoorschriften schrijven voor dat een stortplaats aan de bovenzijde voorzien moet zijn van een combinatieafdichting. Dit is een afdichting van een kunststoffolie die op een kleiachtige laag ligt (de zogeheten minerale laag). De gedachte achter deze constructie is dat bij een lekkage van de folie, de minerale laag alsnog zorgt voor het tegenhouden van het water. Daarmee vervult de minerale laag de rol van “veiligheidsvoorziening” ten aanzien van falen van de folie.

Door PROGEO Monitoring GmbH is een systeem ontwikkeld dat lekkage in een folieafdichting kan signaleren en de plaats daarvan kan bepalen. Dit systeem is daarmee in potentie geschikt om dezelfde rol te vervullen als de minerale laag: het geven van zekerheid bij een eventuele lekkage van de folie. Het systeem heet Geologger.

Het Stortbesluit geeft aan dat aan de stortplaats een beschermingsniveau geboden moet worden dat vergelijkbaar is aan de voorgeschreven afdichtingsconstructies. Met andere woorden: als aangetoond kan worden dat het Geologger een vergelijkbaar beschermingsniveau biedt als een combinatieafdichting, dan is het toegestaan om Geologger toe te passen in plaats van een combinatieafdichting.

In dit rapport wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de gelijkwaardigheid van het Geologger-systeem aan een combinatieafdichting.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het project is om de gelijkwaardigheid van Geologger ten opzichte van een combinatieafdichting beoordelen conform het Stortbesluit en het geven van handvatten voor de nazorg.

1.3 Uitvoering van het project

Voor het onderzoeken van de gelijkwaardigheid zijn in eerste instantie twee concrete stortplaatsen als uitgangspunt genomen. Het betreft de stortplaatsen “Schoteroog” te Haarlem en “Het Friese Pad” te Emmeloord.
Voor beide stortplaatsen geldt dat ze op niet al te lange termijn voorzien gaan worden van een dichte eindafwerking. Daarbij is Geologger één van de alternatieven die gerealiseerd kan worden. De exploitanten/eigenaren van de stortplaats zijn daarbij geïnteresseerd in een eindafwerking die kostentechnisch interessant is maar ook een controleerbaarheid van de afdichting waarborgt. Geologger kan zo’n afdichting zijn.
Aangezien voor dergelijke afwijkende constructies nog nimmer de gelijkwaardigheid is onderzocht, is hiervoor een begeleidingscommissie ingesteld. Daarin nemen zowel de exploitanten/eigenaren deel als ook de bevoegde gezagen van de betreffende provincies. Uitgangspunt is daarbij geweest om een kleine maar effectieve begeleidingscommissie in te stellen.
De beide exploitanten/eigenaren hebben aan Enviro Advice BV opdracht verleend voor het uitvoeren van het onderzoek.
De beoordeling van de gelijkwaardigheid is uitgevoerd door TNO-MEP te Apeldoorn. Als onderdeel van het project is driemaal overleg gevoerd over de voortgang en uitgangspunten met de opdrachtgever, twee exploitanten van stortplaatsen en het bevoegd gezag van de provincie Noord-Holland en Flevoland (zie paragraaf 1.5).

1.4 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 zijn de principes van het systeem Geologger kort beschreven. Hoofdstuk 3 gaat in op de achtergronden van de regelgeving rond de bovenafdichting van stortplaatsen. De werking van de Geologger in een bovenafdichting in algemene zin, is uitgewerkt in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat een samenvatting van de beoordeling van gelijkwaardigheid op de afzonderlijke aspecten. De conclusies die daaruit getrokken kunnen worden, zijn opgenomen in hoofdstuk 7. Hoofdstuk 8 tenslotte, geeft de belangrijkste literatuur weer die is geraadpleegd.

In de bijlagen 1 en 2 zijn berekeningen opgenomen inzake de lekkage die op kan treden. Bijlage 3 bevat de rapportage van de risicoanalyse van Geologger. Bijlage 4 beschrijft de voor dit rapport belangrijkste aspecten van de stortplaatsen Schoteroog en Het Friese Pad. In bijlage 5 is ter informatie de “Stellungnahme” van BAM[1] opgenomen betreffende Geologger. Bijlage 6 laat met foto’s een locatie zien waar Geologger wordt aangebracht. Tenslotte bevat bijlage 7 een overzicht van alle projecten waar Geologger inmiddels is toegepast.

[1] BAM: BundesAnstalt für Materialprüfung te Berlijn. Onafhankelijke organisatie voor beoordeling van materialen, vergelijkbaar met TNO in Nederland.

1.5 Begeleidingscommissie

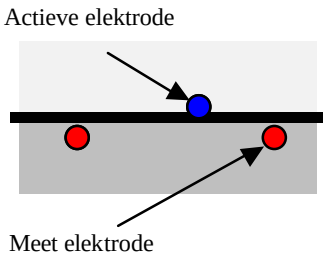
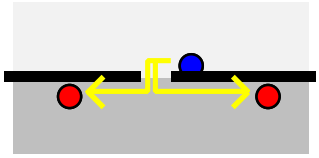
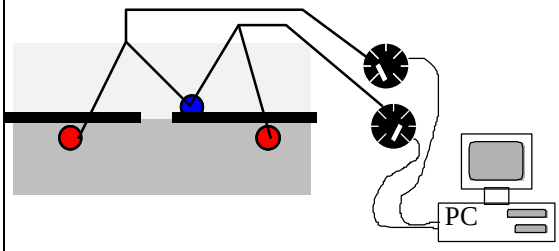
Het project is begeleid door een commissie waar de volgende personen zitting in hebben genomen:

- E. de Beer – Provincie Flevoland
- W. Dam – Provincie Noord-Holland
- J. Hörst – Provincie Flevoland
- A. Kant – Ingenieursbureau Oranjewoud BV te Heerenveen, namens “Het Friese Pad”
- W. Kragten – Enviro Advice BV te Nieuwegein
- J. Mol – Provincie Noord-Holland
- R. Overduijn – Provincie Flevoland
- M. Sman – Provincie Flevoland
- A.A. Smit – Stortplaats Het Friese Pad te Emmeloord
- C. Sollman – Afvalzorg Deponie te Haarlem, voorzitter van de werkgroep
- A. Steerenberg – Enviro Control Services BV te Nieuwegein

2. Beschrijving van het systeem Geologger

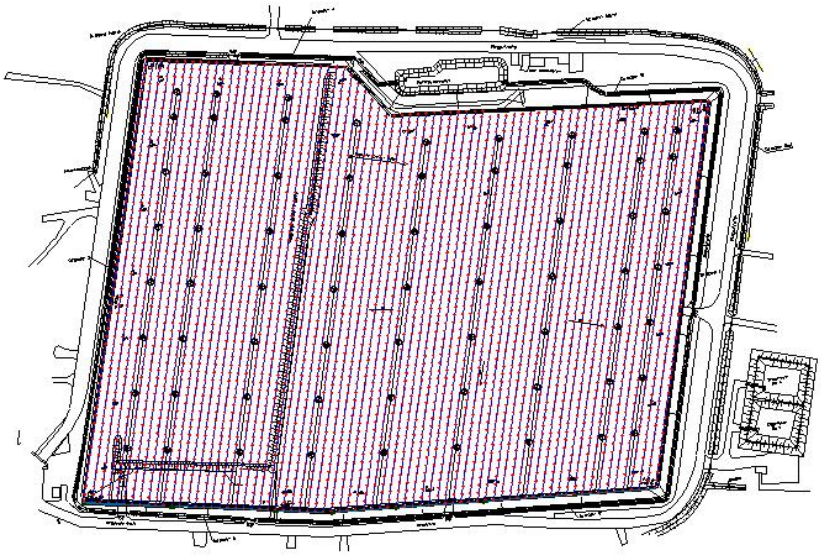
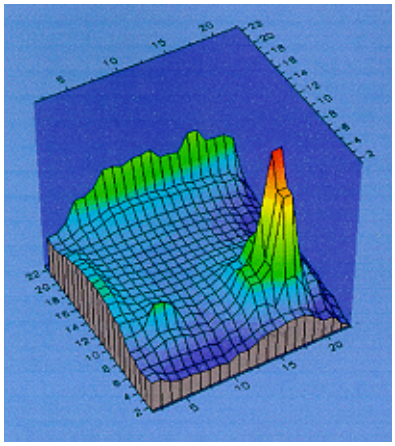
2.1 Beschrijving van het systeem Geologger

Het principe van Geologger is gebaseerd op de geleiding van stroom door een vochtige bodem. Een bovenafdichting bestaat uit een kunststoffolie. De kunststoffolie geleidt geen elektrische stroom als er een spanningsverschil boven en onder de folie wordt aangebracht.
Zodra er een lekkage in de folie ontstaat, zal er stroom lopen van de actieve elektroden die zich boven de folie bevinden naar het netwerk van meetelektroden onder de folie. Aan de hand van het spanningsverschil tussen de verschillende elektroden, is te bepalen waar de lekkage zich bevindt. In onderstaande figuur is dat gevisualiseerd.

		
1: Normale situatie: geen lekkage en dus geen meting van spanningsverschil. Er staat een spanningsverschil tussen de onderste meetelektroden en de bovenste actieve elektrode. Folie isoleert de stroom	**2: Lekkage**: door een gat in de folie kan stroom (gele lijntjes) van de actieve elektrode via vochtige aarde de meetelektroden bereiken. Spanningsverschil is meetbaar	**3: Plaats lekkage bepalen**: Door middel van het meten en vergelijken van spanningsverschillen tussen de verschillende meetelektroden is de plaats van lekkage te bepalen. Voor deze berekeningen wordt een computer gebruikt. De resultaten worden op een beeldscherm weergegeven

Figuur 2-1 Principe van Geologger

Op een stortplaats wordt een netwerk van elektroden aangebracht. De elektroden liggen, zoals weergegeven in bovenstaande figuur, zowel boven als onder de folie. Bij lekkage kan daarmee worden bepaald waar de lekkage zich bevindt. Zo kan gericht herstel worden uitgevoerd.

	
1: Netwerk van elektroden op de stortplaats Münchehagen – Rood: meetelektrode – Blauw: actieve elektrode	2: Visualisatie van de plaats van de lekkage op een computerscherm

Figuur 2-2 Netwerk en weergave van meetresultaten

2.2 IJking van de gegevens

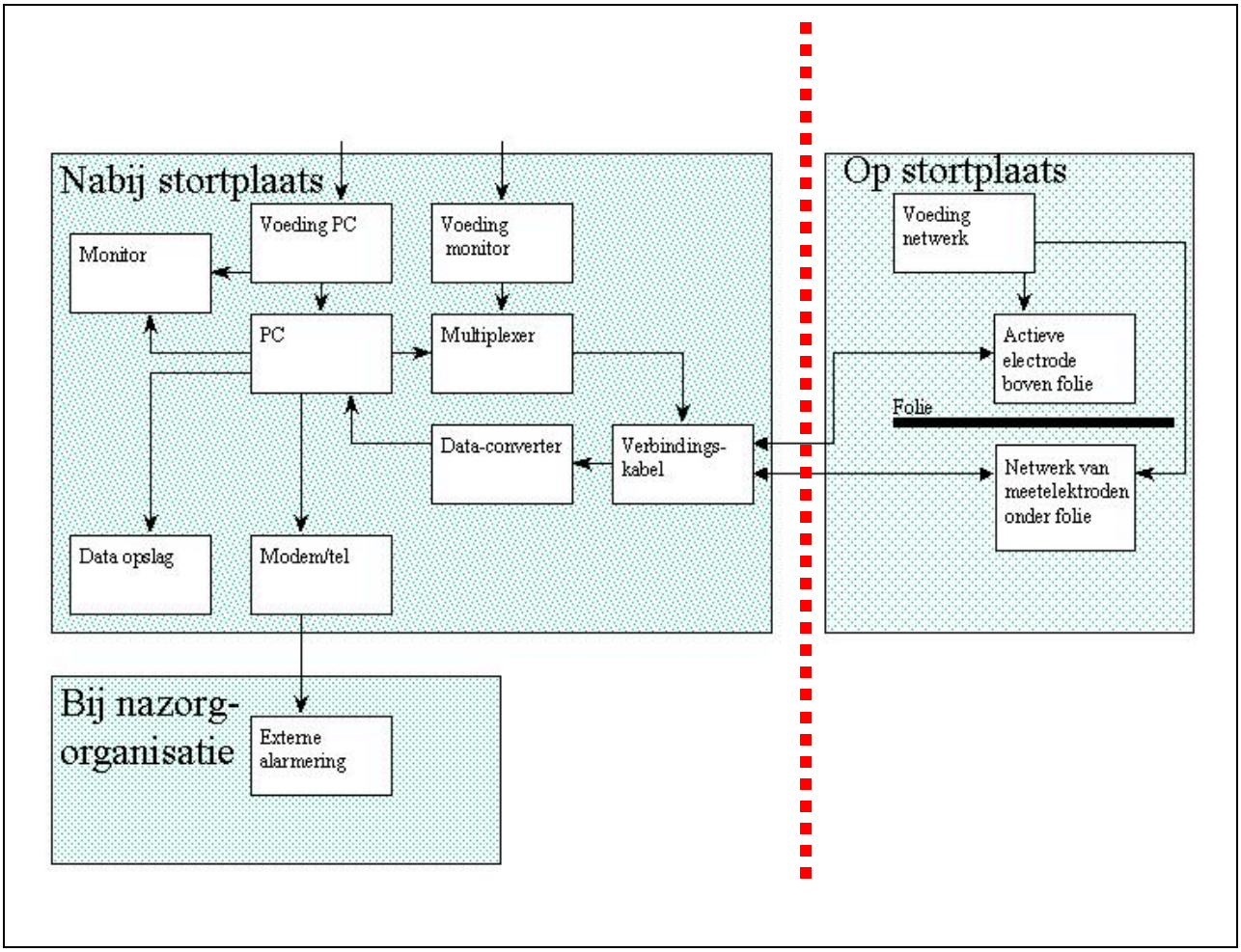
Uit de meting door Geologger kan de plaats van de lekkage worden bepaald. IJking van de grootte van de lekkage is niet op directe wijze mogelijk. De hoogte van het gemeten signaal wordt in hoofdzaak bepaald door:

– onderlinge afstand van de elektroden;
– spanning die op de elektroden wordt aangebracht;
– grootte van het gat;
– vochtigheid van de bodem/geleidbaarheid bodem c.q. bodemvocht.

IJking is op indirecte wijze mogelijk door een referentie-lekkage aan te brengen waarin een gat zit van een geijkte grootte. Zo is relatief vast te stellen of lekkages elders groter of kleiner zijn dan de referentielekkage. Zo'n referentielekkage is niet *door* de kunststoffolie aangebracht maar eronder. Een feitelijke lekkage is het dus niet.

2.3 Op en om de stortplaats

In bijlage 3 is als onderdeel van de FMECA, een verder uitgewerkte beschrijving van Geologger opgenomen. Uit het hierboven beschreven principe blijkt dat Geologger onderverdeeld kan worden in het netwerk van elektroden die in de stort worden ingebouwd en het ondersteunende systeem dat om de stortplaats (i.c. in een gebouw rond de stortplaats) aanwezig is.



Figuur 2.3 Indeling van Geologger (zie bijlage 3)

In bovenstaande figuur is die onderverdeling aangegeven. Alles wat links van de stippellijn lijn staat, is in de omgeving van het daadwerkelijke stortcompartiment aangebracht en daarmee relatief makkelijk te vervangen. Alles wat rechts van de gestippelde lijn staat, is ingebouwd in de bovenafdichting van het stortcompartiment en daarmee moeilijker te vervangen.

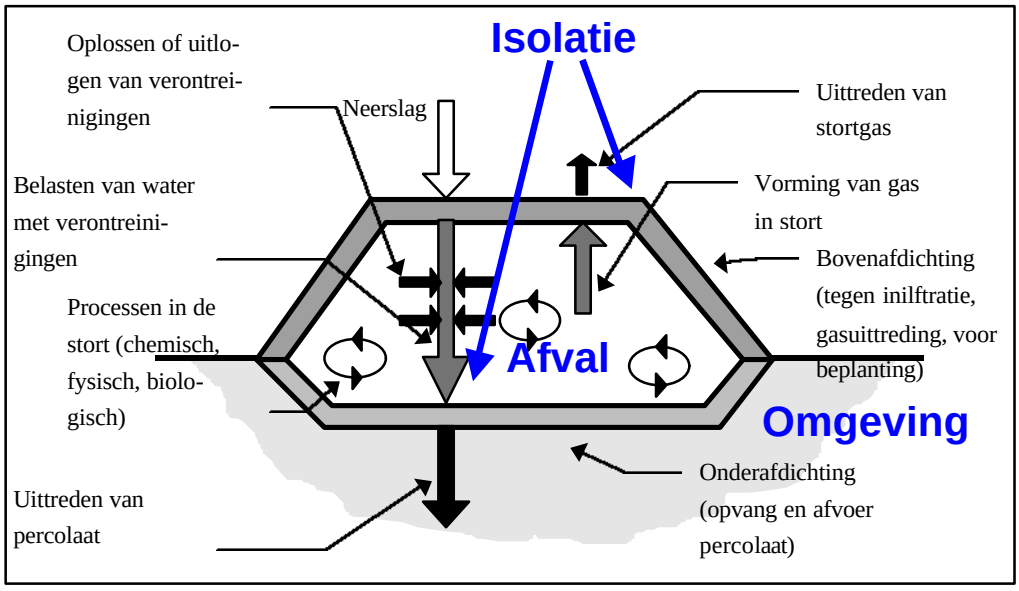
3. Beschermingsniveau en gelijkwaardigheid

3.1 Beschouwing inzake het beschermingsniveau

3.1.1 Factoren die het beschermingsniveau bepalen

In een stortplaats worden afvalstoffen definitief opgeborgen. Voordat afval wordt gestort, wordt een onderafdichting aangebracht. Nadat het betreffende deel van de stortplaats vol is, wordt de stort voorzien van een bovenafdichting.
Het gestorte afval zal normaal gesproken water bevatten. Dat kan van “nature” in het afval zitten. Ook is het mogelijk dat er water in het afval komt in de periode tussen storten en het aanbrengen van de dichte eindafwerking.

In het gestorte afval kunnen allerlei processen op gang komen. Deze processen kunnen leiden tot (aanzienlijke) veranderingen in de omstandigheden in de stort. Processen die optreden kunnen leiden tot uitloging of oplossing van verontreinigingen of de vorming van gassen. Voor de omgeving betekent dit dan een potentieel milieurisico in de vorm van bodem- of luchtverontreiniging.



Figuur 3-1: Beschermingsniveau van stortplaatsen

Inzicht in de eigenschappen van het gestorte afval, de processen die plaatsvinden in de stort en de eigenschappen van de isolerende voorzieningen geven samen inzicht in de mate waarin milieurisico’s voor de omgeving optreden. Als dit risico voldoende klein is, kan worden gesteld dat wordt voldaan aan het beschermingsniveau

zoals dat in het Stortbesluit is vereist. Er is dan sprake van een beheersbare en controleerbare stort. Belangrijk is dan om te weten of wordt voldaan aan het beschermingsniveau. Met andere woorden: of de verwachtingen kloppen met de praktijk.

In de Leidraad Storten (1993)[1] zijn beheersbaarheid en controleerbaarheid gedefinieerd als:

Een stortplaats is **beheersbaar** als:
1. *de omvang van de emissies beneden een vastgesteld niveau gehouden kan worden;*
2. *de kans op ongewenste emissies tot beneden een aanvaardbaar risico wordt gebracht.*

Daarvoor is het noodzakelijk dat:
1. *men inzicht heeft in de processen die zich in de stortplaats afspelen;*
2. *de aard en mate waarin effecten in de praktijk optreden met dit inzicht overeenstemmen.*

Om na te kunnen gaan of aan de verwachtingen (de gestelde eisen) wordt voldaan, moeten ten behoeve van de uitvoering van de metingen en het doen van waarnemingen controlevoorzieningen worden aangebracht.

Een stortplaats is **controleerbaar** wanneer:
1. *emissies vanuit de stortplaats op de juiste plaats en tijdig geconstateerd kunnen worden;*
2. *ontwikkelingen die de emissies kunnen beïnvloeden tijdig geconstateerd wo rden.*

Als een stortplaats beheersbaar en controleerbaar is, is de kans op ongewenste of niet-geconstateerde emissies beneden een aanvaardbaar niveau.

Met de definities van beheersbaarheid en controleerbaarheid is een nadere invulling gegeven van het begrip “beschermingsniveau”. Deze definities kregen de instemming van de begeleidingscommissie van de Leidraad Storten.

3.1.2 Communicerende vaten

Uit de definitie blijkt dat er sprake is van communicerende vaten, dit zijn de factoren die samen het risico van de stort voor de omgeving bepalen:
- de (bio)chemische processen in de stort inclusief de verontreinigingsvracht en transportprocessen;
- de getroffen voorzieningen voor isolatie van de stort;
- maatregelen ter controle.

[1] In de Leidraad Storten is in hoofdstuk 10 bij tabel 10.2 vermeld dat op termijn elektronische signaleringssystemen gebruikt kunnen gaan worden

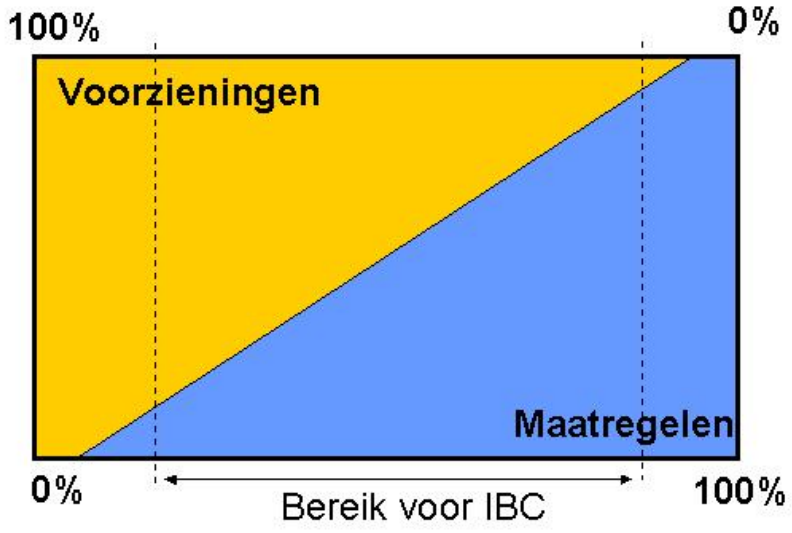
De processen in de stort vereisen bepaalde voorzieningen. Als er bijvoorbeeld veel stortgas wordt gevormd, zal een voldoende grote gasopvang en -afvoer aanwezig moeten zijn. Als er sprake is van inert afval, is de noodzaak voor zware isolerende voorzieningen ook weer anders.
Van de processen in de stort kan een voorspelling gemaakt worden. Op basis daarvan worden de voorzieningen ontworpen en gerealiseerd. Óf de processen ook daadwerkelijk zo optreden, zal periodiek getoetst moeten worden. Zolang werkelijkheid en verwachting met elkaar sporen, is er sprake van een controleerbare en beheersbare situatie (zie definitie van beheersbaarheid en controleerbaarheid). Als er afwijkingen zijn, zullen maatregelen getroffen moeten worden.

Inzicht in processen en het functioneren van de bodembeschermende voorzieningen is daarmee een belangrijk onderdeel van het voldoen aan het beschermingsniveau. Duidelijk is in ieder geval dat isolatie niet los gezien kan worden van beheersen en controleren. Dat is immers het principe van IBC.

3.1.3 Voorzieningen versus maatregelen

Als het inzicht in de processen die plaats vinden in de stort ontbreekt dan zal dit gecompenseerd moeten worden door zwaardere voorzieningen of een intensievere of andere vorm van monitoring.
In ieder geval geldt dat voor elke fysieke voorziening (een bovenafdichting bijvoorbeeld) een bepaalde mate van organisatorische maatregelen noodzakelijk is om de fysieke voorziening in stand te houden. Het omgekeerde geldt ook: bij elke controlemaatregel, hoort een voorziening om de controle uit te voeren.

Er is derhalve een samenhang tussen organisatorische en fysieke maatregelen. In onderstaande figuur is dat gevisualiseerd.



Figuur 3-2 Voorzieningen en maatregelen

Als er een extreme verhouding is tussen “voorzieningen <> maatregelen” is er geen sprake meer van een goed systeem: het systeem wordt dan niet meer gecontroleerd (*geheel links in de* figuur) of biedt geen minimaal vereiste isolerende werking meer (*geheel rechts in de figuur*). De uitersten moeten derhalve vermeden worden aangezien dan niet meer wordt voldaan aan het principe van IBC. Met stippellijntjes is dat aangegeven.
Een goed systeem dat recht doet aan beheersbaarheid en controleerbaarheid zal zich dus ergens in het middengebied bevinden. Dat middengebied is, helaas, niet kwantitatief af te grenzen.

3.2 Van toepassing zijnde regelgeving

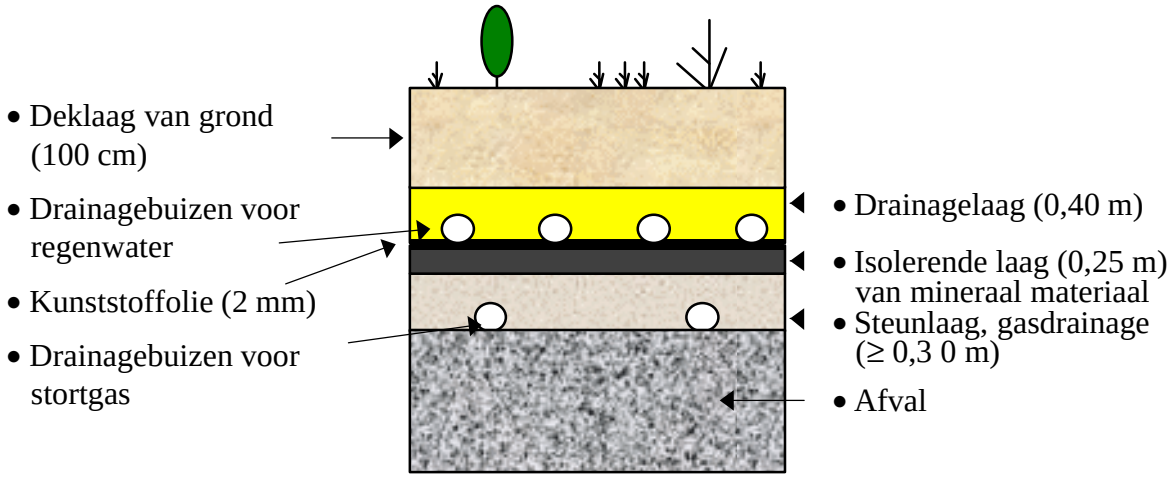
3.2.1 Overzicht van de regelgeving

Voor stortplaatsen wordt de regelgeving gevormd door het Stortbesluit bodembescherming. Het Stortbesluit is een instructie-Amvb. Dat wil zeggen dat het bevoegd gezag, de provincie dus, op basis van het Stortbesluit een Wm-vergunning opstelt en verleent aan een stortplaats. Het Stortbesluit is daarmee een instructie aan het bevoegd gezag om in de voorschriften van de vergunning volgens de Wet milieubeheer te gebruiken.

Het Stortbesluit verwijst voor technische zaken naar de Uitvoeringsregeling Stortbesluit. Deze Uitvoeringsregeling verwijst weer voor meer gedetailleerde technische zaken naar technische richtlijnen. De belangrijkste richtlijn in dit geval is de

"Richtlijnen voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen" (Ministerie VROM, 1991, *kortweg Richtlijn Bovenafdichting*).

Deze richtlijn kan het beste beschouwd worden als een middelvoorschrift voor de aanleg en constructie van een dichte eindafwerking. In 1991 is op basis van de toenmalige inzichten deze richtlijn opgesteld. Samengevat komt het neer op het voorschrijven van een combinatie-afdichting, inclusief materiaaleisen, eisen voor aanleg en eisen voor nazorg.
De bovenafdichting conform de richtlijn Bovenafdichting is in onderstaande figuur schematisch weergegeven.



Figuur 3-3 Constructie van de bovenafdichting (naar: Richtlijn bovenafdichting)

3.2.2 Kwantitatieve zin

De combinatieafdichting bestaat uit een combinatie van een folie-afdichting en een minerale afdichting.

Minerale afdichting
De norm die aan de minerale laag van een dichte eindafwerking wordt gesteld is een maximale doorlatendheid van 20 mm/jaar (met een i = 5 gedurende 200 dagen/jaar) [uit: Richtlijnen voor dichte eindafwerking op stortplaatsen, par. 11.1.7, pag. 58]. Minerale afdichtingen zijn daarmee nooit absoluut waterdicht [uit: Richtlijnen voor dichte eindafwerking op stortplaatsen, par. 4.2.1, blz. 19].

Folie-afdichting
In de Richtlijn Bovenafdichting zijn geen eisen opgenomen ten aanzien van de waterdichtheid van de HDPE-folie. Van de HDPE-folie is bekend dat deze water-

dicht is. Wel zijn eisen opgenomen zoals doorscheursterkte, doorponssterkte en dergelijke [zie Richtlijnen voor dichte eindafwerking op stortplaatsen in paragraaf 11.2]. Hierover wordt opgemerkt in paragraaf 4.2.1 dat de waterdichtheid afhankelijk is van incidentele fouten zoals beschadiging en/of verbindingsfouten.

De combinatie-afdichting
De doorlatendheid van de combinatie-afdichting is eigenlijk niet vast te stellen in de vorm van een lekkage in mm/jaar. Dit is niet te beproeven in een laboratorium aangezien dit afhangt van de situatie in het veld (bij aanleg en in de nazorgfase).

Veldinformatie en ervaringsgegevens kunnen aangeven:
- waar er veelal lekkages in de folie optreden;
- hoe groot deze lekkages zijn;
- hoeveel lekkages per ha kunnen ontstaan.

Gezamenlijk geeft deze informatie een basis aan het berekenen van hoeveel lekkage er uiteindelijk nog door een combinatie-afdichting kan komen.
Dergelijke berekeningen zijn bij het opstellen van de Richtlijn Bovenafdichting uitgevoerd door het Staring Centrum te Wageningen. Aan de hand van enkele korte en globale berekeningen is destijds voor circa 20 kleine lekjes (hetgeen in 1991 stand der techniek was) een jaarlijkse lekkage van circa 5 mm/jaar berekend[1].
Daarbij is voor deze lekkage van 5 mm/jaar uitgegaan van de gehele constructie. Dat betekent dus dat de lekkage over de gehele oppervlakte verdeeld mag worden.
Onderzoek door Colluci (1995) geeft aan dat bij onderzoek aan 25 stortplaatsen, gemiddeld 15 lekkages van uiteenlopende grootte per hectare voorkwamen. Daarvan was 80% kleiner dan 500 mm^2.

Lekkage van de folie treedt op bij:
- productiefouten;
- aanlegfouten:
  - beschadigingen (bijvoorbeeld door materieel of verkeerde handelswijze);
  - foute verbindingen;
- beschadigingen in de nazorgfase:
  - door onderhoud en daardoor beschadigen van de folie;
  - door zetting waardoor de maximale rek wordt overschreden;
  - door chemische of biologische aantasting.

Voor het systeem Geologger betekent dit dat in ieder geval beter gepresteerd moet worden dan 5 mm/jaar[2].

---

1 In rapport 247 van het Staring Centrum wordt in paragraaf 3.2 gesproken over “enkele millimeters per jaar afhankelijk van aanleg-, constructie- of fabricagefouten en van ongelijkmatige zetting …” voor een onderafdichting

2 In de bijlagen 1 en 2 zijn hierover berekeningen uitgevoerd.

3.2.3 Kwalitatieve zin

In kwalitatieve zin omschrijft de toelichting van de Uitvoeringsregeling van het Stortbesluit inzake de eisen waaraan de afdichting (dus zowel boven- als onderafdichting) moet voldoen:

> *De eisen waaraan moet worden voldaan zijn:*
> 1. *Geschiktheid en duurzaamheid van de afdichting in contact met de af te schermen stoffen;*
> 2. *Lage doorlatendheid voor deze stoffen;*
> 3. *Betrouwbaarheid;*
> 4. *Eenvoud van constructie, kwaliteitsbeheersing, reparatie en onderhoud.*

Dit zijn dus blijkbaar belangrijke criteria voor de beoordeling van gelijkwaardigheid van afdichtingen. Verder wordt in de toelichting gesteld dat:

> *Voor de stortplaatsen betekent dit dat een basispakket van voorzieningen en maatregelen moet worden gekozen dat overeenkomstig de stand der techniek een maximale bodembescherming oplevert.*

Met andere woorden: er moet worden gewerkt volgens de stand der techniek. Specifiek over de bovenafdichting meldt de toelichting:

> *Zoals in de vorige paragraaf is aangegeven kan van de Richtlijn dichte eindafwerking worden afgeweken, mits wordt aangetoond dat ten minste een gelijkwaardig beschermingsniveau wordt bereikt.*

Dit is in artikel 5.1 van de Uitvoeringsregeling verwoord als:

> ***Artikel 5.1****: Bij het verbinden van voorschriften aan de vergunning die betrekking hebben op de bovenafdichting, wordt een beschermingsniveau geboden dat ten minste gelijkwaardig is aan de bescherming van de bodem die is beoogd met het gestelde in de Richtlijn dichte eindafwerking.*

Samenvattend kan worden gesteld dat de regelgeving momenteel geen aanduiding bevat van de maximaal toelaatbare lekkage door een bovenafdichting. Wel zegt de regelgeving dat moet worden voldaan aan de stand der techniek. Verder zegt de regelgeving dat afwijken van de voorgeschreven afdichtingsconstructie mag maar alleen als het beschermingsniveau gelijkwaardig is.

3.2.4 Vertaling van de norm naar Geologger

De norm voor de gelijkwaardigheid van bovenafdichtingen is niet kwantitatief. Op grond van de eisen in de richtlijn Bovenafdichting kan wel afgeleid worden welke

aspecten bij de beoordeling van gelijkwaardigheid een rol spelen. Naar het oordeel van TNO betreft dit de volgende drie aspecten:

- **Ondoorlatendheid**: elk type bovenafdichting moet voldoen aan de eis dat er wordt tegengegaan dat er water in het afval komt. De mate waarin dat moet worden tegengegaan is vooralsnog niet gekwantificeerd. Wel is duidelijk dat dit conform de stand der techniek minder dan 5 mm/jaar moet zijn;
- **Duurzaamheid**: de bovenafdichting zal gedurende de geprognotiseerde levensduur goed moeten functioneren. Duidelijk is dat de levensduur direct verband houdt met de kosten voor vervanging. Ook is duidelijk dat de levensduur alleen beoordeeld kan worden als men beschikt over informatie inzake het presteren van de bovenafdichting. Controleerbaarheid is hierbij dus belangrijk;
- **Functionaliteit**: één van de functies van de bovenafdichting is om tegen te gaan dat er water in de stort komt. Verder heeft de bovenafdichting nog functies zoals gasopvang, beperken van diffusie-processen en standplaats voor vegetatie. De prestaties voor deze functies wegen mee bij de beoordeling van gelijkwaardigheid.

3.2.5 Uitwerking van gelijkwaardigheid

Op dit moment is het aan het bevoegd gezag om de gelijkwaardigheid te interpreteren naar lekkages voor een concrete situatie. Het voorstel van TNO-MEP ten aanzien van criteria voor de beoordeling van gelijkwaardigheid van Geologger is als volgt nader uitgewerkt:

Ondoorlatendheid:

- lekkage met een Geologger-systeem (of welke andere bovenafdichting dan ook) is kleiner dan 5 mm/jaar;
- de lekkage wordt berekend per stortplaats;
- de folie wordt conform de stand der techniek aangelegd conform de daarvoor nu geldende voorwaarden voor stortplaatsen. Een en ander conform de Richtlijn Bovenafdichting;
- bij oplevering vindt er een meting plaats. Dan moet de folie waterdicht blijken. Als er lekkages worden gevonden worden deze hersteld en vindt opnieuw een meting plaats totdat de folie waterdicht is;
- Geologger is voldoende nauwkeurig om kleine lekkages te kunnen detecteren. Onder een kleine lekkage wordt een lekkage verstaan met een doorsnede van maximaal 5 mm;
- er wordt een testveld aangelegd van ten minste 1.000 m^2 om de werking van het systeem op de betreffende locatie met de beoogde bouwmaterialen op een realistische wijze te beproeven;
- het testveld moet in staat zijn om 3 op een willekeurige plaats aangebrachte lekkages met een doorsnede van 5 mm foutloos te signaleren binnen een gebied met een straal van maximaal 2,5 m (circa 20 m^2);

- het testveld moet bij geschikt functioneren, deel kunnen uitmaken van de definitieve bovenafdichting;
- er is sprake van voldoende controleerbaarheid.

Duurzaamheid:
- de duurzaamheid van Geologger is vergelijkbaar met combinatieafdichting;
- de folie wordt conform de stand der techniek aangelegd conform de daarvoor nu geldende voorwaarden voor stortplaatsen (zie ook bij “ondoorlatendheid”);
- de algehele betrouwbaarheid (falen van de afdichting) van de constructie is vergelijkbaar met een combinatieafdichting;
- er is sprake van een duurzaam controleerbare bovenafdichting;
- de bovenafdichting is zodanig geconstrueerd dat geen materialen worden toegepast die de kunststoffolie of het Geologger-systeem kunnen beschadigen;
- er worden dusdanige materialen of onderdelen toegepast, dat het vervangen van onderdelen van het systeem ook op de langere termijn mogelijk is, onafhankelijk van de producent van het systeem;
- het systeem wordt geproduceerd en aangelegd onder een systeem van kwaliteitsborging;
- het Geologger-systeem is zelfcontrolerend ten aanzien van:
  - falen van kabels;
  - falen van elektroden;
  - binnendringen van vocht in de aansluiting van de elektrode op de kabel;
- het systeem is bestand tegen de weersomstandigheden zoals die zich in Nederland kunnen voordoen (vorst, regen, bliksem).

Functionaliteit:
- functionaliteit ten aanzien van remming van diffusie en gasopvang is voldoende voor de betreffende stortplaats;
- de constructie van de dichte eindafwerking is zodanig dat er beplanting op kan groeien en het terrein geschikt is voor functies die met een combinatieafdichting ook mogelijk zijn.

3.3 Stand der techniek

De gelijkwaardigheid dient aangetoond te worden. Geologger dient gelijkwaardig aan de stand der techniek te zijn. Wat precies de stand der techniek is, is niet volstrekt eenduidig. In dit rapport wordt uitgegaan van de eigenschappen van een goed aangelegde combinatie-afdichting.

4. Eigenschappen van de Geologger-afdichtingsconstructie

4.1 Inleiding

De eigenschappen van de Geologger-afdichting zijn hieronder in algemene zin beschreven. Daarbij is uitgegaan van een verdere uitwerking van de eisen die vanuit gelijkwaardigheid gesteld worden aan een bovenafdichting (zie paragraaf 3.2.5).

4.2 Ondoorlatendheid

De ondoorlatendheid van de afdichting wordt in hoofdzaak bepaald door:
- Lekkage die inherent is aan het ontwerp van het afdichtingssysteem;
- Betrouwbaarheid van het Geologger-systeem;
- Uitvoering van de organisatorische maatregelen.

4.2.1 Lekkage die inherent is aan het ontwerp van het afdichtingssysteem

Meten ná lekkage
Het Geologger-systeem geeft een signaal af op het moment dat er een lekkage is. Onvermijdelijk is derhalve dat er water in de stort komt, anders kan het systeem niet werken. In bijlage 1 zijn berekeningen opgenomen naar de hoeveelheden vocht die in de stort kunnen treden bij een lekkage.
In bijlage 2 van dit rapport zijn berekeningen opgenomen naar de termijn van ingrijpen die noodzakelijk is om een zo minimaal mogelijke lekkage te bereiken onder voorwaarden. De uitgevoerde berekeningen zijn als een worst case te beschouwen omdat uitgegaan wordt van een gradiënt die in de praktijk niet zal voorkomen en een wateraanvoer naar de lekkage die in de praktijk niet realiseerbaar is.
Daaruit kan geconcludeerd worden dat een lekkage bereikt kan worden die ruimschoots kleiner is dan 5 mm/jaar.
Voorwaarden daarvoor zijn:
- Het Geologger-systeem functioneert goed;
- De HDPE-folie kent een nul-lekkage bij aanleg;
- De organisatorische maatregelen worden juist uitgevoerd.

Een nul-lekkage garanderen is met Geologger, net als voor elke andere afdichting, niet mogelijk. Na een geconstateerde lekkage zal ingrijpen plaats **moeten** vinden. In ieder geval is bij Geologger bekend dát er lekkage is en kan ingrijpen gericht plaatsvinden. Dat is bij geen enkele andere bovenafdichting het geval.

Minimum lekkage

Verder moet opgemerkt worden dat Geologger een detectiegrens kent. Met andere woorden: er is een bepaalde minimale lekkage noodzakelijk alvorens deze te kunnen detecteren. Deze detectiegrens wordt in hoofdzaak bepaald door drie factoren:

- **Vochtgehalte** in de bodem: er is een minimum-vochtgehalte noodzakelijk. De praktijk heeft uitgewezen dat de veldcapaciteit daarvoor voldoende is. In de praktijk blijkt dit namelijk geen problemen op te leveren. Door middel van het meten van de elektrische weerstand van het bodemmateriaal kan vastgesteld worden of het materiaal geschikt is[1];
- **Afstand** tussen de elektroden: er wordt veelal gewerkt met een raster van 5 x 5 m. Een grotere afstand tussen de elektroden maakt de meting minder nauwkeurig, een kleinere afstand betekent uiteraard het omgekeerde. Bij een eventuele ontgraving is veelal een gat van 5 x 5 m noodzakelijk. Een kleinere afstand zou derhalve weinig zinvol zijn. Een grotere afstand kan zinvol zijn als nog voldoende nauwkeurig gemeten kan worden. Dit kan met een testveld vastgesteld worden;
- **Spanning** tussen de elektroden: als de aangebrachte spanning tussen de actieve elektrode en de meetelektrode groter wordt, is nauwkeuriger te meten.

In Duitsland is Geologger al gedurende langere tijd op meerdere stortplaatsen in gebruik (zie bijlage 7). De eisen daar zijn dat Geologger een kleine lekkage (diameter van 5 mm) kan ontdekken [Seeger, 2000] en dat het systeem daarop wordt beproefd door middel van een testveld.
Op grond van de praktijkervaring in Duitsland kan dus geconcludeerd worden dat kleine lekkages goed gedetecteerd kunnen worden. Het testen door middel van drie “proeflekkages” met een diameter van 5 mm is daarvoor een geschikte methode. Zeer kleinere lekkages, denk aan de ordegrootte van haarscheurtjes of zeer kleine gaatjes e.d., kunnen “ontsnappen” aan detectie door Geologger. Op dit moment is het niet mogelijk om díe detectiegrens voor een stortplaats te kwantificeren.
In vergelijking met een combinatieafdichting kan opgemerkt worden dat kleine lekkages in een folie van de combinatieafdichting dan ook zeker niet gedetecteerd worden maar terecht komen in de minerale laag.
De folie-afdichting zal conform de geldende eisen aangelegd moeten worden. Hiermee is voldoende garantie dat de folie op een goede manier wordt aangelegd. De meting bij oplevering met Geologger is een extra garantie dat de folie waterdicht is..

Inherent aan het toepassen van Geologger is een optimale controleerbaarheid van de afdichting.

---

[1] Als vuistregel kan worden aangehouden: minimumgeleidbaarheid voor het materiaal op de kunststoffolie: 300 Ωm en voor het materiaal onder de kunststoffolie: 100 Ωm. (mondelinge informatie PROGEO Monitoring GmbH)

Bij een pH van 4,2 bevat uiterst humusarm matig fijn leemarm zand 2% vocht [Staring Centrum, 1990]

4.2.2 Betrouwbaarheid van het Geologger-systeem

In bijlage 3 is de FMECA van het Geologger-systeem opgenomen. Daarin zijn de omstandigheden beschreven waaronder het Geologger-systeem foute informatie geeft. Die informatie kan betreffen:

- Er wordt een signaal gegeven zonder dat er lekkage is;
- Er wordt geen signaal gegeven terwijl er wél een lekkage is.

De omstandigheden waaronder dit gebeurt zijn beoordeeld als zeer onwaarschijnlijk. De meest kritische factor is het gehalte bodemvocht. Als dit zeer laag is, zal er geen meting plaatsvinden. Aangezien er in de Nederlandse omstandigheden altijd sprake is van een veldcapaciteit met voldoende vocht, zal er altijd een meting mogelijk zijn.

FMECA:
*FMECA is een afkorting van **F**ailure **M**ode **E**ffect and **C**riticality **A**nalysis. De methode wordt veel gebruikt voor veiligheidanalyses en analyse van faalmogelijkheden van constructies.*
Met FMECA wordt aan de hand van functies van onderdelen van installaties met behulp van literatuur- en ervaringsgegevens en sessies met deskundigen bepaald welke faalmogelijkheden er zijn. Verder wordt bepaald hoe groot de risico's ten opzichte van elkaar zijn. Indien mogelijk wordt een absolute maat aan het vastgestelde risico gekoppeld.
FMECA koppelt individuele risico's aan elkaar door middel van scenario-denken: "wat - als - dan"-analyse.

Aandacht is besteed aan beveiliging tegen bliksem. Destijds, op 22 juni 2000, is al geconstateerd dat dit slechts een beperkt risico vormt (zie de FMECA in bijlage 3). Uitval van een kabel is mogelijk. Inmiddels heeft praktijkervaring in Duitsland geleerd dat bij enkele gevallen van blikseminslag geen relevante schade aan het systeem is opgetreden[1]. Daarbij moet als voorwaarden gesteld worden dat een goede bliksembeveiliging is gerealiseerd conform de daarvoor geldende voorschriften.

Gelet op de diepte waarop het systeem ligt (meer dan 1 m beneden maaiveld), mag in de Nederlandse omstandigheden gesproken worden van een vorstvrije ligging. Invloed van vorst op het systeem kan derhalve buiten beschouwing blijven.

De kans dat het systeem niet functioneert is niet getalsmatig te benaderen in de zin van een kansfactor. Wel blijkt uit de FMECA dat de "risk ranking" (zie bijlage 3) voor de als hoogste beoordeelde risico's volgens de expertmening van TNO nog steeds niet zo hoog is. De als meest kritische factoren beoordeelde aspecten betreffen de uitvoering van de organisatorische maatregelen. Een belangrijke voorwaarde is derhalve dat het systeem wordt beheerd door een professioneel werkende (na-zorg)organisatie.

---

[1] Mondelinge mededeling hr. M. Arndt van PROGEO Monitoring GmbH te Berlijn

4.2.3 Uitvoering van de organisatorische maatregelen

In bijlage 2 is berekend dat een termijn van ingrijpen van maximaal 10 dagen gehanteerd zou moeten worden. Essentieel aan het goed functioneren van het Geologger-systeem is de samenhang tussen de bodembeschermende voorziening en de bodembeschermende maatregel. Met andere woorden: als er een lekkage wordt gemeten, dan dient deze ook hersteld te **zijn** in 10 dagen.

Dit stelt de volgende eisen:
- Dagelijkse meting met het Geologger-systeem (dus ook in het weekend) en dus ook dagelijkse beoordeling of er een lekkage is opgetreden;
- De betrokken medewerkers moeten getraind zijn in het werken met het Geologger-systeem en in het organiseren/realiseren van herstel;
- Dit laatste moet zijn vastgelegd bij hun taakomschrijving bij de verantwoordelijke organisatie;
- Procedures voor het omgaan met een melding van een lekkage die is vastgelegd;
- Het bevoegd gezag moet geïnfor meerd worden bij een eventuele lekkage;
- Er moet een contract met een aannemer zijn voor herstel van de lekkage;
- Procedures hoe het herstel uit te voeren moeten zijn vastgelegd;
- Controles moeten zijn vastgelegd of de lekkage goed is hersteld.

Bij een veldbezoek aan de stortplaats “Münchehagen” te Münchehagen in Duitsland is navraag gedaan naar de wijze hoe hier organisatorisch met Geologger is omgegaan[1].
Daar wordt als richtlijn aangehouden dat een geconstateerde lekkage wordt verholpen, ongeachte de grootte van de lekkage. Met andere woorden: elke signalering van Geologger wordt aangepakt.Vooralsnog heeft men daar geen bijzondere organisatiestructuur opgezet om dit te realiseren. Verder moet opgemerkt worden dat hier drie-maandelijks wordt gemeten en niet continu.

Geconcludeerd kan worden dat het realiseren van een goede organisatie een zorgvuldige voorbereiding vraagt. Daarbij moet opgemerkt worden dat er per definitie een nazorgorganisatie zal zijn zodat dit goed realiseerbaar is. Verder moet opgemerkt worden dat als een dergelijke organisatie is opgetuigd voor één stortplaats, het nauwelijks of geen extra moeite is om dit ook voor meerdere stortplaatsen te implementeren. Het realiseren en in stand houden van zo’n organisatie is goed uitvoerbaar en moet deel uitmaken van het bedrijfszorgsysteem van de betreffende stortplaats(organisatie) of nazorgorganisatie.

---

1 Münchehagen is een stortplaats waar chemisch afval is gestort, waaronder dioxine. Meer informatie over deze stortplaats is te lezen op:
http://www.altlastensicherungsgesellschaft.de/index2.htm

Figuur 4-1 Aangebrachte afdichting met Geologger te Münchehagen (16 augustus 2000)

In bijlage 6 zijn enkele foto's opgenomen van de stortplaats. Deze foto's zijn genomen tijdens het veldbezoek op 16 augustus 2000.

4.3 Duurzaamheid

4.3.1 Onderdelen van het systeem

Voor de duurzaamheid van het Geologger-systeem worden de verschillende onderdelen afzonderlijk bekeken. In onderstaande tabel zijn ze weergegeven. Ook is aangegeven op welke wijze gesignaleerd kan worden dat ze niet meer functioneren en hoe herstel plaats kan vinden. In bijlage 3 is de FMECA van het Geologger-systeem uitgewerkt. Onderstaande tabel is daar een samenvatting van, aangevuld met technische eisen die gehanteerd kunnen worden ter toetsing.

Tabel 4-1 Technische eisen aan onderdelen van het Geologger-systeem

Onderdeel Geologger-systeem	Disfunctioneren door …	Waarschijnlijkheid	Herstel	Technische eisen
Kabel: telefoonkabel (20-aderig) met PE-ommanteling	– Aantasting/veroudering	– Gering gelet op PE-ommanteling en praktijkervaring	– Vervangen kabel/reparatie	– Veroudering aan de lucht: DIN EN 60811-1-2, roetgehalte: DIN EN 60811-4-1, duurtest: DIN EN 60811-4-2
	– Overschrijding maximale rek	– Gering aangezien de folie dan eerst scheurt	– Vervangen kabel/reparatie	– Te doorstane rek: > 10% zonder beschadiging
	– Breuk	– Gering, gebeurt alleen bij sterke zettingsverschillen	– Vervangen kabel/reparatie	– Kerftest: DIN EN 60811-4-1, buigtest: DIN VDE 0819-104
Elektrode (koolstofmateriaal)	– Mechanische beschadiging	– Door gevlochten opbouw beperkte gevoeligheid voor beschadiging	– Vervangen elektrode	– Testen op verandering in signaal (zie Rödel, 1995)
	– Veroudering	– Tests wijzen uit dat veroudering niet meetbaar is	– Vervangen elektrode	– Verder: testen als kabel
	– Overschrijden maximale rek	– Gelet op gevlochten opbouw, zeer grote rek mogelijk	– Vervangen elektrode	
– Krimpkous	– Mechanische beschadiging	– Dit zal ook leiden tot beschadiging van de kabel c.q. signaleren intreden vocht en wordt dus gesignaleerd	– Vervangen aansluiting elektrode	– Idem als voor kabel. Tests uitvoeren op kabel met aansluiting van elektrode
	– Overschrijden maximale rek	– Kan optreden maar rek van kabel is circa 15% voordat falen optreedt	– Vervangen aansluiting elektrode	
– Afdichtende lijm	– Mechanische beschadiging	– Dit zal ook leiden tot beschadiging van de kabel c.q. signaleren intreden vocht en wordt dus gesignaleerd	– Vervangen aansluiting elektrode	– Idem
	– Overschrijden maximale rek	– Kan optreden maar rek van kabel is circa 15% voordat falen optreedt	– Vervangen aansluiting elektrode	

Onderdelen van het systeem zijn op duurzaamheid beproefd door Progeo in Duitsland. Dit onderzoek betreft de doorvoering van de elektrode door de kabel. Deze testen zijn bekend bij de BAM.

Op 17 augustus 2000 heeft overleg plaatsgevonden tussen de BAM en TNO. Er is gesproken met dr. Seeger van de BAM (BAM: Laboratory IV.32, Landfill Engineering). Hij is de initiatiefnemer van de “Arbeitskreis Dichtungskontrolsysteme”

waarin vertegenwoordigers van overheden, onderzoeksinstituten en bevoegd gezag een algemene richtlijn opstellen voor de beoordeling van lekdetectiesystemen[1].

Geconcludeerd kan worden dat:
- De Arbeidskreis Dichtungssysteme concludeert dat de levensduur van Geologger zeker 30 jaar bedraagt. De BAM onderschrijft die conclusie. TNO ziet geen reden om die conclusie in twijfel te trekken en onderschrijft die conclusie derhalve ook mede gelet op het feit dat:
  - Gelet op de relevante faalmechanismen kan geconcludeerd worden dat de grootste kans op de beschadiging in de eerste jaren na aanleg is. Dan zijn de processen in de stortplaats het meest actief en vindt de meeste dynamiek plaats. Een langere levensduur dan 30 jaar is derhalve zeer aannemelijk;
  - Van een HDPE-folie mag een levensduur worden aangenomen die aanzienlijk langer is dan 30 jaar [Seeger, 1996]. Dit wordt bevestigd door navraag aan deskundigen binnen TNO. Voor folies kan op basis van diverse onderzoeken, een levensduur van circa 100 jaar worden aangehouden. Gelet hierop en gelet op de opbouw van het systeem van Geologger lijkt TNO een levensduur van circa 50 jaar goed haalbaar voor het systeem Geologger onder normale omstandigheden.
- Uitval van onderdelen van het systeem gesignaleerd kan worden. Daarmee is er een permanent inzicht te verkrijgen in het functioneren van het systeem;
- Uitval van elektroden leidt tot een verminderd vermogen tot het detecteren van kleine lekkages maar niet tot het niet meer kunnen detecteren van lekkages;
- Onderdelen die zich niet op de stortplaats in de afdichtingsconstructie bevinden, vervangbaar zijn binnen een redelijke termijn.

4.3.2 Duurzaamheid van het systeem

In de voorgaande paragraaf is aangegeven dat van de verschillende onderdelen van Geologger een lange levensduur verwacht mag worden. Daarbij resteert de vraag of het systeem als geheel een evenzo lange levensduur zal hebben.
Gelet op het feit dat materialen met een lange levensduur worden gebruikt, de onderdelen op een dusdanige wijze worden samengevoegd dat dit leidt tot een betrouwbare constructie en de materialen niet zullen reageren met elkaar en het systeem onder kwaliteitsborging wordt gemaakt en aangelegd lijkt ons een levensduurverwachting die vergelijkbaar is met een combinatieafdichting reëel. Daarbij merken we op dat het falen van het systeem veelal zal worden veroorzaakt door invloed die niet van het systeem zelf komt. Daarbij denken we aan graafwerkzaamheden die leiden tot beschadiging of grote zettingen. Door dit soort oorzaken raakt ook de afdichting beschadigd (ongeacht wat voor type afdichting wordt toegepast).

---

[1] Meer informatie over de Arbeitskreis Dichtungskontrollsysteme is te vinden op: www.deponieonline.de/dableck.htm#akdks

Uitval van onderdelen van het systeem zal door Geologger gecontroleerd kunnen worden. Dit maakt dat er inzicht is in het functioneren en maakt verder gericht herstel mogelijk.

4.3.3 Faalmechanismen

Als er een onderdeel van de afdichting faalt, dan ligt daar een faalmechanisme aan ten grondslag. Hieraan is in overleg met de begeleidingscommissie van dit project aandacht besteed op 22 juni 2000. De belangrijkste faalmechanismen zijn hieronder kort beschreven.

Tabel 4-2 Faalmechanismen en de effecten op de combinatieafdichting en Geologger

Mechanisme	Effect op combinatie-afdichting	Effect op Geologger
Ongelijkmatige zetting: door ongelijkmatige zetting ontstaat rek van zowel de bekabeling van Geologger als van de kunststoffolie	De kunststoffolie zal scheuren als de alzijdige rek groter is dan 6%. De minerale laag zal scheuren. Kleine scheuren kunnen herstellen door zwelling van bentoniet. Dit vergt enige tijd zodat in die tussenperiode water kan intreden in de stort. Grotere scheuren zullen niet herstellen aangezien het zelfherstellend vermogen daarvoor ontoereikend is. Het systeem is voor grotere zettingen niet meer waterdicht	De kabels van het systeem rekken. Bij het testen van de kabel door PROGEO Monitoring GmbH bleek dat de kabel gemiddeld 15% rek kan weerstaan en niet per definitie breekt bij een aansluiting van een elektrode. Voor de folie geldt dat deze scheurt bij een grotere rek dan 6%.
Beschadiging door ingrijpen van buitenaf: hierbij moet worden gedacht aan beschadiging door graafwerkzaamheden of door aantasting door ongedierte of beworteling.	De afdichtende lagen worden beschadigd. Veelal zal dit opgemerkt worden aangezien het aanzienlijke ingrepen betreft. Er zal geen sprake zijn van een zelfherstellend vermogen omdat daarvoor de beschadigingen te groot zijn.	De folie en de kabels raken beschadigd. Dit wordt opgemerkt omdat er dan geen signaal meer wordt ontvangen. Herstel is noodzakelijk.
Beschadiging bij aanleg: ervaring heeft geleerd dat beschadigingen van een kunststoffolie met name ontstaan bij aanleg. Beschadigingen ontstaan door: – Lopen of rijden op de folie; – Beschadiging door grove delen in de lagen onder en boven de kunststoffolie.	De kunststoffolie raakt beschadigd. Grotere beschadigingen zijn visueel waarneembaar en zullen herstel worden. Kleinere beschadigingen kunnen aan de aandacht ontsnappen en leiden tot een vochtintreden in de minerale laag. Bij kleinere beschadigingen zal het zelfherstellend vermogen ervoor zorgen dat de beschadiging (grotendeels) hersteld.	Ook hier raakt de kunststoffolie beschadigd. Ook hier zullen grotere beschadigingen gezien worden en worden hersteld. Kleine beschadigingen worden gesignaleerd door Geologger zodat er een waterdichte folie ligt. Lekkage door zeer kleine scheuren zal, net als bij de combinatieafdichting, niet opgemerkt worden.

Uit bovenstaand overzicht kan worden afgeleid dat:

– De oorzaken voor falen zijn gelijk voor een combinatieafdichting als voor een afdichting met Geologger;

- Als de folie beschadigd raakt, dan is dit het geval voor zowel een combinatie-afdichting als voor een afdichting met Geologger;
- Bij een passief systeem als de combinatie-afdichting leidt een beschadiging die niet wordt gedetecteerd, tot vochtintrede in de minerale laag. Bij een actief systeem zoals Geologger leidt dat tot een kortstondige intrede van water en tot een signalering waarna herstel kan volgen;
- Bij beide systemen kunnen zeer kleine beschadigingen onopgemerkt blijven.

4.3.4 Aanleg van het systeem

De aanleg van het systeem is van groot belang om een goed functioneren op de lange termijn te kunnen waarborgen. Derhalve is het noodzakelijk om:

- In de steunlaag en drainagelaag geen materialen toe te passen die de kunststoffolie of de kabels kunnen beschadigen. De eisen van de Richtlijn Bovenafdichting moeten hierbij gehanteerd worden;
- Geologger en de kunststoffolie moeten onder een systeem van kwaliteitsborging worden aangelegd door daarin deskundige bedrijven;
- Bestek en nota's van wijzigingen e.d., moeten bewaard worden zodat er te allen tijde een goed inzicht bestaat in de constructie en de gebruikte materialen en eventuele afwijkingen;
- De bovenafdichting mag pas aangelegd worden als de te verwachten verschilzettingen zodanig klein zijn, dat ze geen risico meer vormen voor het overschrijden van de alzijdige rek van de kunststoffolie;
- De folie en de onderdelen van het Geologger-systeem moeten zo kort mogelijk aan zonlicht worden blootgesteld.

4.4 Functionaliteit

Op een stortplaats vervult de bovenafdichting de functies van:

- *Tegengaan van het intreden van water*: de functie is dan dus ondoorlatendheid (zie voorgaande paragraaf) en deze functionaliteit is reeds beschreven;
- *Standplaats voor vegetatie of gebruik voor het terrein*: de voorgenomen constructie met Geologger heeft geen invloed op de dikte van de deklaag. Daarmee verandert de functionaliteit voor het gebruik van het terrein niet.
- *Opvang van gas*: gas wordt normaal gesproken opgevangen in de steunlaag en afgevoerd via een gasonttrekkingssysteem. Deze constructies zullen niet veranderen als een Geologger-systeem wordt aangebracht in plaats van een combinatieafdichting. Derhalve wordt geconcludeerd dat deze functionaliteit niet wordt beïnvloed;
- *Tegengaan van verspreiding van stoffen anders dan door gastransport*: een folie is waterdicht. Processen via watertransport zijn daardoor uitgesloten. HDPE-folie is echter niet volstrekt dicht voor alle stoffen. Sommige stoffen zoals lipofiele organische verbindingen [Staring Centrum, 1993 [1]] kunnen

door de HDPE-folie komen door diffusieprocessen. Dit is echter alleen een probleem als ze daadwerkelijk aanwezig zijn in concentraties die van belang geacht mogen worden. Verder moet opgemerkt worden dat deze processen qua snelheid aanzienlijk langzamer gaan dan advectief transport.
De remming van diffusie door de afdichting is derhalve minder dan bij een combinatieafdichting. Gelet op het feit dat de snelheidsverschillen tussen beide processen aanzienlijk zijn, achten wij de waarde van het kunnen signaleren van een lekkage van zo mogelijk groter belang.

5. Toetsing van gelijkwaardigheid op een stortplaats

5.1 Randvoorwaarden voor de toetsing

In dit hoofdstuk is de toetsing van gelijkwaardigheid uitgevoerd. Deze toetsing is uitgevoerd voor een reguliere stortplaats. Onder een reguliere stortplaats wordt verstaan een stortplaats met afval (geen C2- of C3-afval) die valt onder de eisen die het Stortbesluit stelt. Een dergelijke stortplaats is te beschrijven als:

- Beperkte (verschil)zettingen. In ieder geval dusdanig gering dat er een combinatieafdichting aangelegd kan worden;
- Geen bijzondere eisen aan de bovenafdichtingsconstructie vanuit bodemmechanisch oogpunt;
- Geen vorming van uitzonderlijk grote hoeveelheden stortgas;
- Geen vorming van bijzondere gassen, anders dan stortgas;
- Geen bijzonder gebruik van het terrein in de nazorgfase. Daarbij kan worden uitgegaan van gebruik zoals dat ook geldt voor stortplaatsen met een combinatieafdichting;
- Goed functionerende nazorgorganisatie qua monitoring, onderhoud en ingrijpen bij calamiteiten;
- Geen bijzonder afval dat vraagt om aanvullende maatregelen of aanvullende constructies.

De in de volgende paragraaf uitgevoerde toetsing op gelijkwaardigheid geldt voor alle reguliere stortplaatsen die aan bovenstaande eisen voldoen. De stortplaatsen Schoteroog en Het Friese Pad worden beschouwd als reguliere stortplaats.

5.2 Overzicht

Hieronder is in de vorm van een tabel een overzicht gegeven van de toets van gelijkwaardigheid met een combinatieafdichting. Daarbij is uitgegaan van een reguliere stortplaats. De belangrijkste eigenschappen van een reguliere stortplaats zijn:

Tabel 5-1 Samenvattende vergelijking van gelijkwaardigheid

Aspect van gelijkwaardigheid ⇓	Combinatieafdichting	Geologger-afdichting
Ondoorlatendheid		
– te bereiken ondoorlatendheid	– < 5 mm/jaar, theoretische benadering	– < 5 mm/jaar, rekenkundige benadering
– toets op dichtheid afdichting bij opleveren	– nee	– ja
– aanleggen testveld	– ja	– ja
– controleren van lekkage	– visueel, periodiek	– visueel periodiek
– betrouwbaarheid constructie bij aanleg	– hoog: eenvoudig aan te leggen constructie	– hoog: eenvoudig aan te leggen constructie
– betrouwbaarheid constructie bij gebruik	– hoog: eenvoudig systeem met strikte kwaliteitscontrole	– hoog: eenvoudig systeem dat controleerbaar is
!! zelfherstellend vermogen	– voor zeer kleine gaten: ja, voor grotere gaten: beperkt	– nee, daarvoor ingrijpen bij beschadiging noodzakelijk
!! gericht ingrijpen mogelijk bij lekkage	– nee, of slechts in beperkte mate	– ja, met een nauwkeurigheid van circa 20 m2
Duurzaamheid		
– te verwachten levensduur	– circa 50 jaar	– circa 50 jaar
!! controle op duurzaamheid	– nee, tenzij afdichting wordt opgegraven	– ja, continu
– duurzaamheid onderdelen	– zeer hoog door eigenschappen afzonderlijke materialen	– zeer hoog door eigenschappen afzonderlijke materialen
– praktijkervaring met duurzaamheid constructie	– ja, voldoende stortplaatsen aangelegd	– ja, m.n. in Duitsland stortplaatsen aangelegd
– kritische factor duurzaamheid afdichtingsconstructie:	– functioneren kunststoffolie	– functioneren kunststoffolie
!! zelfcontrolerend systeem	– nee	– ja
– vervangen van onderdelen mogelijk	– ja doch slechts beperkt van toepassing	– ja
– kwaliteitsborging noodzakelijk	– ja	– ja
– bijzondere ervaring vereist bij aanleg	– ja	– ja
– beveiliging voor blikseminslag noodzakelijk	– nee	– ja
– organisatorische maatregelen noodzakelijk	– ja	– ja
Functionaliteit		
– remming diffusie	– conform eisen Stortbesluit	– minder dan bij minerale laag doch ruim voldoende voor reguliere stortplaats
– gasopvang	– conform eisen Stortbesluit	– conform eisen Stortbesluit
– beplanting	– conform eisen Stortbesluit	– conform eisen Stortbesluit
– afvoer regenwater	– conform eisen Stortbesluit	– conform eisen Stortbesluit
– gebruik terrein in nazorgfase	– conform eisen Richtlijn Bovenafdichting	– conform eisen Richtlijn Bovenafdichting

5.3 Belangrijkste verschillen

In bovenstaande tabel zijn de belangrijkste verschillen met een !! aangegeven. Dit betreft de volgende aspecten:

- *Zelfherstellend vermogen*: dit is verschillend. Het ontbreken van een zelfherstellend vermogen bij Geologger wordt gecompenseerd door in te grijpen bij een geconstateerde lekkage;
- *Gericht ingrijpen mogelijk bij lekkage*: aangezien het principe van Geologger is gebaseerd op geo-electrische plaatsbepaling is het mogelijk omgericht in te grijpen. Voor een combinatieafdichting is men aangewezen op indirecte methoden zoals veldinspecties of resultaten uit peilbuizen die in de omgeving zijn geplaatst;
- *Controle op duurzaamheid*: of de afdichting duurzaam functioneert, kan bepaald worden door Geologger. Dit is met een combinatieafdichting eigenlijk alleen mogelijk door de afdichting op te graven. Gerichte controlemethoden ontbreken;
- *Zelfcontrolerend systeem*: een combinatieafdichting is geen systeem dat zichzelf kan controleren. Het is een passief systeem dat geen informatie kan geven over het functioneren. Bij Geologger is dat wel het geval.

6. Eindoordeel over de gelijkwaardigheid

Op grond van het uitgevoerde project inzake de gelijkwaardigheid van Geologger[1] voor een reguliere stortplaats delen wij onze conclusies in de volgende onderwerpen:
- Het begrip gelijkwaardigheid;
- De betrouwbaarheid van het systeem;
- De gelijkwaardigheid;
- De handvatten voor de nazorg.

Dit is hieronder verder uitgewerkt.

6.1 Het begrip gelijkwaardigheid

- Dit begrip is niet op een eenduidige manier uitgewerkt in de Nederlandse regelgeving;
- Eisen ten aanzien van te bereiken ondoorlatendheid zijn niet duidelijk in de regelgeving omschreven;
- Het begrip “controleerbaarheid” krijgt weinig aandacht bij de huidige nazorg van stortplaatsen ofschoon dit een essentieel onderdeel is van IBC;
- Ons inziens dient gelijkwaardigheid beschouwd te worden vanuit drie gezichtspunten:
  - Ondoorlatendheid;
  - Duurzaamheid;
  - Functionaliteit;
- Er is sprake van gelijkwaardigheid als voor alle drie deze punten geldt dat het systeem op goede manier kan functioneren als bovenafdichting;

6.2 Betrouwbaarheid van het systeem

- Op grond van de FMECA kan Geologger als een zeer betrouwbaar functionerend systeem worden beschouwd;
- Eventueel disfunctioneren van het controlesysteem zelf kan vastgesteld worden;
- Falende onderdelen kunnen vervangen worden ofschoon vervangen op het stortcompartiment tot graafwerkzaamheden leidt;
- Het systeem biedt een belangrijke meerwaarde bij het permanent kunnen controleren van de dichtheid van een afdichting. Ervaring heeft geleerd dat kunststoffolies nimmer 100% dicht zijn zodat daarmee dit systeem een belangrijke

[1] Onder Geologger verstaan wij hier het samenstel van het lekdetectiesysteem van PROGEO Monitoring GmbH, de kunststoffolie én de organisatorische maatregelen voor controle plus herstel bij geconstateerde lekkage

toegevoegde waarde heeft ten aanzien van het vergroten van de betrouwbaarheid van de bovenafdichting;
- Gelet op het principe van IBC is controleerbaarheid van de afdichting van groot belang. Hier onderscheidt het systeem zich in belangrijke mate van de combinatie-afdichting.

6.3 Gelijkwaardigheid

- *Ondoorlatendheid*: met het systeem kan een zeer geringe doorlatendheid worden bereikt en biedt het voordeel van een actieve controle. Voorwaarden zijn een aanleg onder kwaliteitsborging en goed functionerende organisatorische maatregelen;
- Het systeem is qua *duurzaamheid* naar verwachting vergelijkbaar met een combinatieafdichting;
- De *functionaliteit* van een afdichting met Geologger is zodanig dat de afdichting zeer goed zal functioneren voor de beoogde functies.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat Geologger gelijkwaardig is aan een combinatieafdichting bij gebruik op een reguliere stortplaats.

6.4 Handvatten voor de nazorg

Voor de nazorg geeft Geologger informatie over de toestand van de afdichting. Reparatie kan derhalve gericht plaatsvinden. Voor de nazorg moet rekening worden gehouden met:
- Een organisatie die is ingericht op het werken met Geologger. Dit kan de nazorgorganisatie zijn;
- Kosten voor onderhoud/vervanging van de delen die niet op de stortplaats zijn gelegen;
- Periodieke evaluatie van de resultaten van eventuele lekkages (zoals: oorzaak van lekkage, grootte lekkage, nauwkeurigheid detectie);
- Periodieke evaluatie inzake het functioneren van het Geologger-systeem (i.c. eventueel falen van onderdelen);
- Doorsturen van informatie (bijvoorbeeld jaarlijks) naar het bevoegd gezag;
- Op basis van de ervaringen met het systeem c.q. de afdichting kunnen reserveringen voor stortplaatsen elders worden bijgesteld. Dit maakt dat in de loop der tijd inschattingen inzake de levensduur steeds accurater gemaakt kunnen worden.

7. Literatuur

[1] BADU-TWENEBOAH K., Evaluation of the effectiveness of HDPE geomembrane liner protection, 1998, in: 1998 Sixth international conference on geosynthetics

[2] COLLUCI P., LAVAGNOLO M.C., Three years field experience in electrical control of synthetic landfill liners, 1995, in: Proceedings Sardinia 95, fifth international landfill symposium 1995

[3] BAM, Stellungnahme zum Geologger, 1994

[4] BRUGGEMAN G.A., Developments in water science, Amsterdam 1999

[5] IWACO, Monitoringsplan stortplaats Schoteroog te Haarlem, 1996

[6] GIROUD J.P. et. al, New developments in landfill liner leakage detection, 1998, in: 1998 Sixth international conference on geosynthetics

[7] KRUSEMAN G.P., N.A. DE RIDDER, Analysis and evaluation of pumping test data, Wageningen 1991

[8] LOPZE M., et al., A CASE STUDY OF DESIGN, INSTALLATION AND LEAKAGE DETECTION SYSTEM OF A GEOMEMBRANE LINER, 1995, in: Proceedings Sardinia 95, fifth international landfill symposium 1995

[9] MINISTERIE VROM, Leidraad Storten, 1993

[10] MINISTERIE VROM, Richtlijnen voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen, 1991, in: publicatiereeks bodembescherming nr. 1991/2

[11] MINISTERIE VROM, Handleiding voor ontwerp en konstruktie van eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen, in: publicatiereeks bodembescherming nr 1991/4

[12] MINISTERIE VROM, Richtlijnen voor het toepassen van geomembranen ter bescherming van het milieu, in: publicatiereeks bodembescherming nr. 1991/5

[13] NAUE FASERTECHNIK, Langzeitbeständigkeit von Geokunststoffen, 1999

[14] ORANJEWOUD, Nazorgplan stortplaats Het Friese Pad te Emmeloord (documentnur. 14207-53378.RAP, revisie 05, datum 7 augustus 2000), 2000

[15] SEEGER, S., Dichtungskontrollsysteme für Oberflächenabdichtungen, Paper van de 17e Fachtagung “Die sichere Deponie”, februari 2000 (Würzburg)

[16] RÖDEL, A., Entwicklung eines Verfahrens zur Leckdetection und –ortung an Deponieabdichtungen, BAM, 1995 in: Teilvorhaben 61 van BMBF-Verbundvorhaben Weiterentwicklung von Deponieabdichtungen

[17] STAM, J.L. (Omegam), Geohydrologische isolatie van het stort Schoteroog door middel van een cement-bentoniet-folie wand (downloadable van internet via: www.xs4all.nl/~geotech/papers/schoteroog.doc)

[18] STARING CENTRUM, Toepassingsmogelijkheden van TRISOPLAST voor de afdichting van afval- en reststofbergingen, 1994, in: rapport 300

[19] STARING CENTRUM, Verspreiding van stoffen uit afvalstortterreinen in relatie tot de kwaliteit van afdichtingen, 1993, in: rapport 246 [1]

[20] STARING CENTRUM, Studie naar onderafdichtingsconstructies voor afval- en reststofbergingen, 1993, in: rapport 247 [2]

[21] STARING CENTRUM (Hoeks et al), Handleiding voor ontwerp en konstruktie van eindafdekking van afval- en reststofbergingen, 1990, in: rapport 91 van het Staring Centrum en: Publikatiereeks bodembescherming nr. 1991/4

[22] TOUTE-FOLTZ N., Large scale tests for the evaluation of composite liners hydraulic performance: a preliminary study, 1999, in: : proceedings Sardinia 99, seventh international landfill symposium 1999, deel III, pag. 157

[23] TOUTE N., C. DUQUENNOI, Finite element method to quantify leak rates through composite liners, 1997, in: proceedings Sardinia 95, fifth international landfill symposium 1995, deel III, pag. 259

8. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Enviro Advice BV
Dukatenburg 78
3430 JC Nieuwegein
www.enviro.nl

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Drs. A.B.M. Stax
M.Th. Logtenberg M.Phil

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

april – oktober 2000

Ondertekening:	Goedgekeurd door:
Drs. A.B.M. Stax projectleider	Ir. J. Schaafsma afdelingshoofd

Bijlagen

1 Berekeningen lekkage door folie-afdichting
2 Bepalen van de snelheid van ingrijpen
3 FMECA van Geologger
4a Beschrijving stortplaats Schoteroog
4b Beschrijving stortplaats Het Friese Pad
5 Stellungnahme zum Geologger (BAM, 22 juni 1994)
6 Foto’s veldbezoek Münchehagen (16 augustus 2000)
7 Overzicht van stortplaatsen waar Geologger is gerealiseerd

Bijlage 1 Lekkage door een folie-afdichting

Inleiding

Om te weten hoe snel ingegrepen moet worden bij een lekkage, is inzicht noodzakelijk in hoeveel water infiltreert bij een lekkage van de folie. Meerdere factoren spelen daarbij een rol.

Op grond van literatuur kan een analytische benadering van de lekkage worden opgesteld. Deze analytische benadering geeft een kwantitatief beeld waardoor de infiltratiesnelheid wordt beïnvloed.

De berekeningen zijn gemaakt om de volgende vragen te kunnen beantwoorden:

- Hoeveel water komt er per jaar door een gat van bepaalde afmetingen;
- Hoe lang duurt het voordat lekkend water door de steunlaag het afval bereikt;
- Wat betekent dit voor een de lekkage per oppervlakte-eenheid?

Analytische benadering

De lekkage voor een dergelijke situatie kan worden benaderd door middel van de formule voor de stroming volgens Torricelli. Daarbij wordt geen rekening gehouden met weerstand tijdens stroming.

$$V = \sqrt{2 * g * h}$$

Met een correctiefactor wordt deze weerstand wel meegenomen. Verder is onderstaande formule uitgewerkt door de diameter van de lekkage mee te nemen in de formule.

$$V = m * \sqrt{2 * g * h} * p * r^2$$

Er is gerekend met bovenstaande formule. Als de verlaging (dikte van de afdeklaag plus de drainagelaag) groter is dan het debiet, wordt de maximaal mogelijke stroming door het gat niet bereikt. Er is dus sprake van een Q_{max} die door de grootte van het gat wordt bepaald en een $Q_{mogelijk}$ die het resultaat is van de verlaging ten gevolge van de stroming. Een dergelijke benadering is een overschatting van de werkelijke stroming. In de berekeningen in deze bijlage zijn de resultaten van de $Q_{mogelijk}$ weergegeven.

Er is gerekend met cirkelvormige gaten in de folie. Verder is gerekend met een vaste waarde van het drukverschil van 1,25 m, analoog aan de berekeningen voor een afdichting met zand-bentoniet.

Dit drukverschil moet als een overschatting van de werkelijke optredende situatie worden beschouwd. De feitelijke lekkage zal lager zijn dan de berekende lekkage.

Uitgangspunten voor de berekening

Constructie
De opbouw van de constructie waarmee is gerekend bestaat van boven naar beneden uit:
- Deklaag;
- Drainagelaag van zand dik 0,3 m of drainagemat dik 0,03 m;
- Folie, dik 2 mm;
- Steunlaag van granulair materiaal, dik 0,3 m of drainagemat dik 0,03 m.

De toe te passen materialen hebben eigen karakteristieken, en leveren ook verschillende uitgangspunten op voor de berekening.

Oppervlakte lek
De belangrijkste factor voor de hoeveelheid lekkend water is het oppervlakte van de beschadiging die een lek veroorzaakt. De kwaliteit van de uitvoering is bepalend voor omvang van lekken. Bij een redelijk goed aangelegde en gecontroleerde folieafdichting wordt uitgegaan van een oppervlakte van een gat die kan liggen tussen 500 mm^2 en de grens van waarneembaarheid van enkele mm^2. Kleine lekken zullen vaker voorkomen dan grote. [Colluci, 1995]. Per hectare kan het aantal lekken variëren tussen 2 en 100. Als gemiddelde bij een goede aanleg wordt 10 lekken per ha aangehouden. Uit onderzoek van Colluci (1995) blijkt een gemiddeld aantal lekken per ha van circa 15. Daarbij is de verdeling qua grootte van de lekkages als volgt:

Tabel I.1 Verdeling van de grootte van lekkages

Grootte van de lekkage	Procentueel aandeel
0 – 20 mm^2	23,2%
20 – 100 mm^2	26,3%
100 – 500 mm^2	28,2%
500 – 1.000 mm^2	8,8%
> 1.000 mm^2	13,5%

Naar: Colucci (1995)

Als uitgangspunt wordt aangehouden dat het oppervlakte van een lek kan liggen tussen 10 en 500 mm^2 op een oppervlakte van de folie van willekeurige omvang. Hiermee wordt een maximum en minimum lek voor één gat berekend.

Waterdruk
De optredende waterdruk wordt door de ontwerp-veldomstandigheden bepaald. De Richtlijn Bovenafdichting gaat uit van de aanwezigheid van water gedurende 200 dagen per jaar, een falende drainage die leidt tot een druk op de folie van 0,75 m, en een onverzadigde toestand onder de folie met een waterdruk van -0,5 m. In totaal is dat dus een waterdruk van 1,25 m.
Als een drainagemat wordt toegepast zal de waterdruk op de folie lager blijven door de overal aanwezige afvoercapaciteit van de mat. Een locale storing kan een extreme toename van de waterdruk geven. Verder zal voor beide constructies gel-

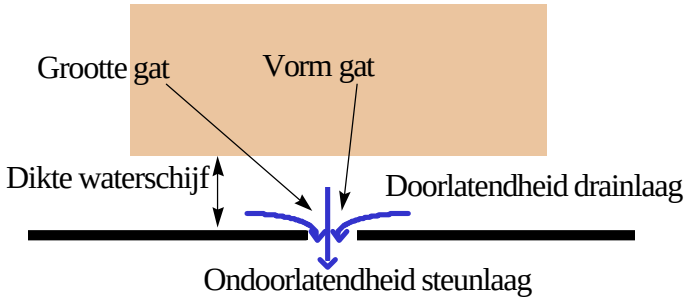
den dat de extreme situatie niet gedurende 200 dagen per jaar optreden. Veiligheidshalve is hier voor alle constructies wél in de berekening vanuit gegaan. Opgemerkt moet worden dat dit een sterke overschatting is van de werkelijke situatie. Dientengevolge moeten alle berekende scenario's als worst case scenario's beschouwd worden.

Intrede- en uittredeweerstand
Op het moment dat er een lek optreedt ontstaat er stroming. Deze stroming wordt opgewekt door de zwaartekracht en afgeremd door weerstanden.

- Toestroming in de drainagelaag. Bij een zandlaag is het potentiaalverschil tussen het punt bij het lek en de aangehouden maximale waterstand en de doorlatendheid bepalend. In de Richtlijn Bovenafdichting is de eis voor doorlatendheid op 2,5 m /dag gesteld. Bij een drainagemat is eveneens het (lagere) potentiaalverschil en de verticale filterweerstand bepalend. De horizontale weerstand speelt daarbij minder een rol;
- Uitstroming door de steunlaag. De Richtlijn Dichte Eindafwerking geeft bij een zandlaag zand voor zandbed aan. Een doorlaatfactor (verzadigd!) is niet gegeven maar ligt 2 à 4 x lager dan het zand voor de drainagelaag. Voor de drainagemat geldt de weerstand van filtervliezen aan onder- en bovenzijde. De tussenliggende holle ruimte geeft geen weerstand.
  Dit betekent dat bij een verzadigde stroming er een instroomweerstand is. Daar is nu geen rekening mee gehouden. Derhalve kan geconcludeerd worden dat ook hier sprake is van een worst case situatie.

Minimale en maximale lek
Voor beide situaties zijn gelijk de duur van 200 dagen per jaar van de optredende waterdruk en de zuigspanning aan de onderzijde van 0,5 m waterkolom.

Bij de toepassing met zandbed is de drukhoogte op de folie 0,75 m. Bij de toepassing van de drainagemat is de drukhoogte op de folie 0,1 m.



Figuur I.1 Opbouw van de bovenafdichting en factoren die lekkage bepalen

Resultaten

Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt dat na enkele uren een vrijwel constante waarde wordt bereikt voor de lekkage. Deze uiteindelijke waarde is bijna onafhankelijk van de grootte van het gat en van de porositeit. De berekeningen zijn uitgevoerd conform de eerder genoemde analytische benadering. Er is een spreadsheet gemaakt waarmee de berekeningen zijn gedaan.

In onderstaande twee tabellen zijn de rekenresultaten samengevat. De eerste tabel geeft de resultaten weer voor een constructie met een drainage van zand. De tweede tabel geeft een berekening waar de drainage door een drainagemat wordt verzorgd.

Tabel I.2 Lekkage voor een constructie met zanddrainage

Opp. Lek (mm^2)	Straal lek (mm)	Lekkage na 1 dagen (m^3)	Lekkage na 5 dagen (m^3)	Lekkage na 7 dagen (m^3)	Lekkage na 10 dagen (m^3)
1	0,6	0,26	1,28	1,80	2,57
2	0,8	0,51	2,57	3,59	5,13
5	1,3	1,25	5,91	8,15	11,46
10	2	1,31	6,16	8,50	11,93
100	6	1,54	7,18	9,78	13,82
1.000	18	1,87	8,60	11,78	16,43

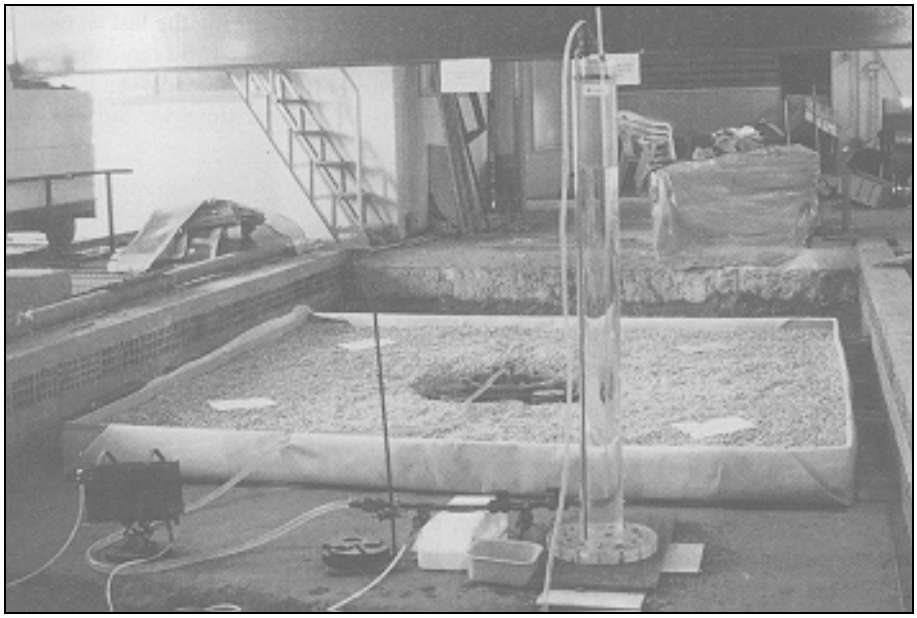
Tabel I.3 Lekkage voor een constructie met drainagematten

Opp. Lek (mm^2)	Straal lek (mm)	Lekkage na 1 dagen (m^3)	Lekkage na 5 dagen (m^3)	Lekkage na 7 dagen (m^3)	Lekkage na 10 dagen (m^3)
1	0,6	0,26	1,28	1,80	2,57
2	0,8	0,51	2,50	3,46	4,87
5	1,3	0,56	2,66	3,67	5,15
10	2	0,59	2,78	3,82	5,37
100	6	0,70	3,25	4,46	6,25
1.000	18	0,85	3,91	5,36	7,47

Uit de resultaten blijkt:
- na ongeveer 1 dag is de lekkage vrijwel constant;
- de lekkage wordt niet evenredig met de grootte van het gat groter;
- de constructie van de drainagelaag heeft direct invloed op de resultaten.

Toets aan literatuur

Toute-Foltz (1999) beschrijft een laboratorium-test waarbij de lekkage door een gat in de folie is gemeten. Daarbij is een HDPE-folie aangebracht op een ondergrond. De ondergrond bestaat uit verdicht lemig zand. Het betreft een proef met een oppervlakte van 3,4 x 8 m. Daarop werd een waterspiegel van 0,215 m op gezet. Het aangebrachte gat had een diameter van 2 mm.



Figuur I.2 Proefstelling van Toute-Foltz (uit: Toute-Foltz, 1999)

De metingen laten zien dat in eerste instantie, een lekkage optreedt van 220 l/dag. Dit neemt na ruim een uur af tot een waarde van ruim 125 l/dag. Uiteindelijk stroomt er na 6 uur testen, een vrijwel constante stroom van circa 120l/dag door het gat.

Uit dit onderzoek blijkt dus dat na verloop van tijd een constante waarde voor de infiltratie optreedt. Ook blijkt hieruit dat de afname tot deze constante waarde in relatief korte tijd plaatsvindt.

Deze bevinden komen goed overeen met de resultaten van de analytische benadering die is gebruikt. Ook laten ze zien dat de analytische benadering hogere waarden geeft dan de waarden die in deze praktijksituatie gemeten worden. Gelet op de worst case benadering, is dat logisch. Het verschil bedraagt ongeveer een factor 4 tot 5. Dit komt overeen met het verschil tussen de waterschijf die Toute-Foltz ge-

bruikt en het drukverschil van 1,25 m dat in de berekeningen is gebruikt. Blijkbaar is de zuigspanning onder de afdichting in de praktijk minder groot dan in theorie wordt aangehouden.
De praktijktest van Toute-Foltz zelf, kan nog als een worst case benadering worden beschouwd. Immers, het zal weinig voorkomen dat er continu circa 20 cm water op de afdichting staat.

Bijlage 2 Bepalen van de snelheid van ingrijpen

Inleiding

In bijlage 1 is op analytische wijze bepaald hoeveel water door een gat in de folie kan infiltreren in de stort. De hoeveelheid water die inlekt moet zo klein mogelijk zijn.
Op grond van gesprekken van deskundigen in de werkgroep en externe deskundigen is vastgesteld dat een hersteltermijn van 1 week (7 dagen) haalbaar is. Dat betekent dus gedurende maximaal 7 dagen inlek van water.

Vergelijking van lekkage met een combinatieafdichting

Uitgaande van een inlekperiode van 10 dagen (iets langer dus dan een week om wat reserve in te bouwen), kan voor één gaatje vastgesteld worden hoeveel er in totaal inlekt. Dit is in bijlage 1 berekend.
Of de berekende hoeveelheden veel of weinig zijn is nu niet direct aan te geven. Door ze te vergelijken met een lekkage van 5 mm/jaar (hetgeen stand der techniek was), ontstaat een beeld van wat veel of weinig is. De vergelijking is in onderstaande tabel uitgevoerd. Daarbij wordt uitgegaan van ingrijpen in 10 dagen. De tabel betreft een constructie met zanddrainage.

Tabel II.1 Lekkage bovenafdichting met zanddrainage en lekkage van 5 mm/jaar

Grootte van gat (mm^2)	Lekkage in 10 dagen (m^3)	Norm van 5 mm/jaar (m^3)	Verhouding
1	2,57	50	1 : 19
2	5,13	50	1 : 8
5	11,46	50	1 : 4,4
10	11,93	50	1 : 4,2
100	13,82	50	1 : 3,6
1.000	16,43	50	1 : 3

Uit de verhouding in de laatste kolom, kan worden afgelezen hoeveel gaten aanwezig “mogen” zijn om de norm niet te overschrijden. Vastgesteld kan worden dat meerdere gaten per ha kunnen voorkomen gedurende 10 dagen, voordat de norm wordt overschreden.
Hieronder is dezelfde exercitie gedaan voor een constructie met drainagematten. Het vochtleverend vermogen van drainagematten is geringer omdat ze een geringere bergingscapaciteit hebben.

Tabel II.2 Lekkage bovenafdichting met drainmatten en lekkage van 5 mm/jaar

Grootte van gat (mm^2)	Lekkage in 10 dagen (m^3)	Norm van 5 mm/jaar (m^3)	Verhouding
1	2,57	50	1 : 19
2	4,87	50	1: 10
5	5,15	50	1: 9.7
10	5,37	50	1: 9.3
100	6,25	50	1 : 8
1.000	7,47	50	1: 6.7

Worst-case aspecten

In de uitgevoerde berekeningen is uitgegaan van een aantal pessimistische aannamen:

- het vochtleverend vermogen van de drainagelagen is voldoende. In de praktijk zal een dergelijke laag na enige tijd geen aanvoer van water meer leveren omdat de laag is “uitgeput”;
- de weerstand van doorstroming van de onder de kunststoffolie gelegen laag is nul. In de praktijk is dat natuurlijk niet zo. Veelal wordt hier geen drainagezand of vergelijkbaar materiaal toegepast maar eerder iets zwaardere materialen;
- er is gerekend met een i van 10. Dit wordt immers ook aangehouden voor de berekeningen bij de doorlatendheid van minerale lagen. In de praktijk zullen er zich niet zulke waterhoogten voordoen op een dergelijke constructie.

Conclusies ten aanzien van termijn van ingrijpen

Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt dat bij een termijn van ingrijpen van 10 dagen, er voldoende “reserve” aanwezig is, zelfs als wordt uitgegaan van de “worst case”situatie.

We concluderen derhalve dat een ingrijpingstermijn van 10 dagen acceptabel is en dat een dergelijke termijn leidt tot een beperkte inlek van water in de stort.

Daarbij is het uitgangspunt dat de folie, voordat de nazorgfase ingaat, volledig waterdicht is.

Bijlage 3 Rapportage FMECA op het systeem Geologger

BIJLAGE DRIE

TNO-rapport
TNO-MEP – R 2000/223

Risico-analyse Geologger

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet www.mep.tno.nl

Datum
juni 2000

Auteur(s)
M.Th. Logtenberg

Projectnummer
31651

Trefwoorden
– FMECA
– Afvaldeponie
– Lekkage controle

Bestemd voor
Enviro Advice BV
Postbus 7108
3430 JC Nieuwegein

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2000 TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Inhoudsopgave

1. Inleiding 3

2. Algemene gegevens FMECA 5
   2.1 Sessie 5
   2.2 Ranking van afwijkingen 5

3. Resultaten en aanbevelingen volgend uit de analyse 7
   3.1 Bespreking resultaten 7
   3.2 Aanbevelingen 8

4. Conclusie 10

5. Referenties 11

6. Verantwoording 12

Bijlage 1 Schetsen systeem Geologger
Bijlage 2 Worksheets FMECA Geologger

1. Inleiding

De inrichting van een stortplaats wordt voorgeschreven door het Stortbesluit bodembescherming. Het Stortbesluit verwijst voor de technische aspecten naar technische richtlijnen. De richtlijn voor de dichte eindafwerking voor stortplaatsen schrijft voor dat een stortplaats voorzien moet zijn van een combinatieafdichting. De combinatieafdichting bestaat uit een isolerende laag van een kunststoffolie in combinatie met een minerale laag, hetgeen kan bestaan uit zand-bentoniet, een bentonietmat of Trisoplast®.
De ratio achter het voorschrijven van een combinatieafdichting is dat dit een maximale waarborg biedt om intreding van(regen)water uit te sluiten. Mocht de kunststoffolie lek raken, dan zal deze lekkage worden opgevangen door de minerale laag. Daarmee vervult de minerale laag dus vooral een functie als zekerheid om infiltratie van water in het afval uit te sluiten.

De hiervoor genoemde functie zou ook vervuld kunnen worden door een lekdetectiesysteem in combinatie met een plan voor het aanpakken van calamiteiten. De firma PROGEO brengt hiertoe een lekdetectiesysteem op de markt waarmee een lek van de kunststoffolie kan worden gedetecteerd en de lekplaats gelokaliseerd. Het principe berust op het meten van verschillen van geleidbaarheid. Elektroden worden aangebracht boven en onder niet geleidend materiaal, de kunststoffolie van de bovenafdichting. Lekkages zullen plaatselijk de geleidbaarheid verhogen.

Het toepassen van een bovenafdichting met een lekdetectie in plaats van een combinatieafdichting kan gebeuren indien sprake is van gelijkwaardigheid van de twee mogelijkheden. Voor een beoordeling hiervan is een stap het uitvoeren van een risicoanalyse op een lekdetectiesysteem. Het doel van de risicoanalyse is om eventueel falen van het systeem van de bovenafdichting in beeld te brengen en de kansen daarop kwalitatief of zo mogelijk kwantitatief weer te geven.

In dit rapport worden de resultaten weergegeven van de uitgevoerde risicoanalyse. Als analysetechniek is hierbij gekozen voor een FMECA (Failure Mode Effect and Criticality Analysis). De analyse gaat uit van te onderscheiden systeemdelen. Voor elk systeem deel wordt vastgelegd wat de functie daarvan is. Vervolgens wordt met een team van deskundigen nagegaan wat de oorzaken zouden kunnen zijn van niet of onvoldoende functioneren. Tevens wordt dan beredeneerd wat de gevolgen kunnen zijn, alsmede de ernst en waarschijnlijkheid van het niet functioneren. De ernst en waarschijnlijkheid worden hiertoe in samenspraak met de deskundigen in klassen ingedeeld. Afhankelijk van de bevindingen kan door het team aanbevelingen worden gedaan ter verbetering van het systeem of te volgen procedures.

Een tweetal schetsen van het getoetste Geologgersysteem staat in bijlage 1. In het kort is het systeem te verdelen in:

- een meet-, registratie- en meldsysteem deel uitmakend van een PC met randapparatuur;
- een multiplexer voor het juist bepalen van de locatie van een lek;
- het sensorsysteem.

Elke bovengenoemd systeemdeel heeft een eigen voeding. Voor de analyse is uitgegaan van een stand-alone PC ter plaatse. Varianten hierop zijn mogelijk die echter aan het principe niets wezenlijks veranderen.
Behalve het Geologger systeem zelf is ook aandacht besteed aan de alarmering naar een externe instantie die op het geven van een melding van een lek actie moet ondernemen.

In bijlage 2 zijn de bevindingen van de FMECA in worksheets weergegeven. De details van de FMECA sessie, zoals teamleden en de toegepaste ranking methoden voor de ernst en waarschijnlijkheid van een afwijking van het functioneren van een systeemdeel, worden in hoofdstuk 2 beschreven. Hoofdstuk 3 bevat een overzicht van de belangrijkste resultaten en aanbevelingen, terwijl de conclusie in hoofdstuk 4 wordt gegeven.

2. Algemene gegevens FMECA

2.1 Sessie

De FMECA is uitgevoerd in één sessie op 30 mei 2000. De duur van de sessie was circa 5 uur.

De team leden waren de heren:
- M.Th. Logtenberg (TNO-MEP, afdeling Industriële Veiligheid - voorzitter)
- A.A. Smit (Stortplaats Het Friese Pad)
- C. Sollman (Afvalzorg Deponie)
- W. Kragten (Enviro Advice BV)
- A. Rödel (Progeo)
- A. Steerenberg (Enviro Control Services BV)
- W. Dam (Provincie Noord-Holland)
- A. Kant (Ingenieursbureau Oranjewoud)
- E. de Beer (Provincie Flevoland)
- R. Overduin (Provincie Flevoland)
- J. Hörst (Provincie Flevoland)
- M. Sman (Provincie Flevoland)
- L. Stax (TNO-MEP, afdeling Industriële Veiligheid)

Bij de uitvoering van de analyse is gebruik gemaakt van het PHAWorks 4.1 programma van de firma Primatech. Het programma wordt vrij algemeen gebruikt bij het uitvoeren van risicoanalyses en helpt bij het gestructureerd vastleggen van de resultaten in een PC. De ingetoetste resultaten zijn via een beamer direct aan de teamleden getoond en waren voor iedereen voortdurend te volgen.

2.2 Ranking van afwijkingen

De ernst en waarschijnlijkheid van de mogelijke afwijkingen zijn aan het eind van de sessie bepaald. In dit geval wordt met de ernst van een afwijking bedoeld: een lek in de bovenafdichting en indringen van (regen)water in de afvaldeponie gedurende een bepaalde tijd. De waarschijnlijkheid heeft betrekking op de mogelijkheid van optreden van de afwijking. De ernst en waarschijnlijkheid zijn in de tabellen met resultaten (bijlage 2) aangeduid als “S=Severity”en “L=Likelihood”.

De vastgestelde omschrijvingen voor de ernst en waarschijnlijkheid van niet functioneren van systeemdelen van de Geologger zijn weergegeven in de tabellen 2.1 en 2.2. Hierbij zijn de engelse omschrijvingen van het programma aangehouden.

Tabel 2.1 Ranking getallen voor de ernst van een afwijking

Omschrijving ranking getallen ernst	
1	Serious
2	High
3	Medium
4	Low
5	None

Tabel 2.2 Ranking getallen voor de waarschijnlijkheid van een afwijking

Omschrijving ranking getallen waarschijnlijkheid	
1	High
2	Moderate
3	Medium
4	Low
5	Very low

Het verband tussen ernst en waarschijnlijkheid wordt uitgedrukt in risico ranking getallen. In tabel 2.3 de algemeen gehanteerde relatie tussen ernst en waarschijnlijkheid. Een laag getal betekent dat de ernst en waarschijnlijkheid hoog zijn. Een hoog getal betekent dat de afwijking belangrijk minder ernstig wordt verondersteld en een geringe waarschijnlijkheid heeft. Een risico ranking getal kan worden gebruikt om aan bepaalde afwijkingen prioriteit te geven. Hiervoor kan het ontwerpteam zelf criteria aanleggen, bijvoorbeeld alle risico ranking getallen gelijk aan of kleiner dan drie kunnen ontwerpaanpassingen of specifieke maatregelen vereisen. Getallen van 7 of groter zouden kunnen worden geïnterpreteerd als geen directe actie, echter wel aandacht. Het staat een team overigens vrij een andere zwaarte aan de verhouding ernst en waarschijnlijkheid te geven. Dat is bij deze analyse niet gedaan.

Tabel 2.3 Standaard risisico diagram voor risico ranking getallen

	Ernst				
Waarschijnlijkheid	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	7	8
3	3	6	7	8	9
4	4	7	8	9	10
5	5	8	9	10	10

3. Resultaten en aanbevelingen volgend uit de analyse

De volledige analyseresultaten met aanbevelingen zijn weergegeven in de worksheets in bijlage 2.

3.1 Bespreking resultaten

Voor een nadere analyse van de resultaten is gekeken naar de frequentie en verdeling van de ernst en de risicogetallen gebaseerd op de gegeven ernst en waarschijnlijkheid getallen.

Het aantal keren dat een zekere waarde voor de ernst van de afwijking is gegeven staat in onderstaande tabel 3.1.

Tabel 3.1 Frequentie en verdeling van de ernst van mogelijke afwijkingen

Ernst omschrijving	Frequentie	Verdeling (%)
1 - Serious	1	7
2 - High	1	7
3 - Medium	2	13
4 - Low	11	73
5 - None	0	0
Totaal	**15**	**100**

Zoals uit de tabel is af te lezen is de ernst van afwijkingen van het functioneren van systeemonderdelen voor het merendeel (73 %) gewaardeerd zijn met de aanduiding “low”. De afwijking is als “serious” beoordeeld indien geen actie wordt ondernomen op basis van een alarmmelding van het monitoringsysteem. Opgemerkt wordt dat dit een organisatorisch aspect is en geen afwijking van het Geologgersysteem zelf. In het geval een te late actie wordt ondernomen is de is voor de ernst de omschrijving “high”gegeven. In twee gevallen is de ernst “medium” te weten: bij een defecte kabel van het meetsysteem door graven en als gevolg van degenereren van de “ondergrondse systeemdelen” bijvoorbeeld door corrosie van de kabel door vochtindringing waardoor geen meting van een lek wordt gedaan.

Over het degenereren van de ondergrondse systeemdelen is al wel enkele jaren praktijkervaring bij andere storten, echter er zijn nog geen modellen voorhanden waarmee de levensduur kan worden voorspeld. Deskundigen bij TNO zijn daar positief over en schattingen worden gedaan van minimaal 50 jaar tot mogelijk 100 jaar. In beide genoemde gevallen is met het systeem overigens het onjuist functioneren wel vast te stellen, het vraagt alleen een mogelijk lastige reparatie.

De verdeling en frequentie van de risicogetallen gebaseerd op de gegeven waarden voor ernst en waarschijnlijkheid volgens het standaard risicodiagram staat in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Verdeling en frequentie risicogetallen

Risicogetal	Frequentie	Verdeling (%)
1	0	0
2	0	0
3	1	7
4	0	0
5	0	0
6	1	7
7	1	7
8	2	14
9	3	21
10	6	43
Totaal	**14**	**100**

Uit de tabel volgt dat het merendeel van de afwijkingen een risicogetal heeft van 8 of hoger. Opgemerkt wordt dat in tabel 3.2 een totaal van 14 afwijkingen is gegeven terwijl in tabel 3.1 het totaal 15 is. Dit is vanwege het feit dat voor de mogelijkheid van sabotage of diefstal geen waarschijnlijkheidsgetal is gegeven en dus is geen risicogetal gegenereerd.

Een risicogetal van 3 is gegenereerd voor de mogelijkheid van geen actie na alarmmelding. Een risicogetal van 6 is gegeven voor een te late actie na melding. Het risicogetal van 7 staat voor de mogelijkheid van vorming van corrosie door vochtindringing bij een of meerdere meetpunten. Deze afwijking kan met het Geologgersysteem zelf worden vastgesteld.

3.2 Aanbevelingen

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de aanbevelingen volgend uit de analyse. De aanbevelingen zijn geordend naar het risicogetal van de afwijking. De risicogetallen (afgeleid uit de ernst en de waarschijnlijkheid van een afwijking volgens tabel 2.3) zijn eveneens tussen haakjes vermeld. Opgemerkt wordt dat niet bij alle gegenereerde risicogetallen ook een aanbeveling is gegeven en dus het aantal aanbevelingen in dit geval belangrijk minder is dan het totaal aantal (14) zoals vermeld in tabel 3.2.

1. In het nazorgplan moet worden opgenomen dat jaarlijks gecontroleerd moet worden dat effectief wordt gereageerd op alarmmeldingen van het systeem. De bewaking van de melding dient te worden uitbesteed aan een professionele organisatie. (3)
2. Het is gewenst om aan de hand van levensduurtesten informatie te krijgen over de mogelijkheid van degeneratie van de meetpunten (bijvoorbeeld indringen van vocht of anderszins door aantastende stoffen). (7)
3. In het bestemmingsplan van de stort en contracten voor activiteiten moet worden geregeld wat mag en kan teneinde het functioneren van het meetsysteem te kunnen blijven garanderen. (8)

4. Een reëel tijdsinterval dient te worden vastgesteld voor het genereren van de waarschuwing: “PC is buiten bedrijf”. Eventueel dient het systeem regelmatig te worden geïnspecteerd ter preventie van het uitvallen. (9)
5. Het meetsysteem dient bij voorkeur in een utiliteitsgebouw(tje) nabij de stort onder te worden gebracht. (9)

4. Conclusie

De uitgevoerde FMECA maakt duidelijk dat geen ernstige kritische kanttekeningen zijn te plaatsen op het meetsysteem van de Geologger.

De belangrijkste afwijkingen zijn: geen of te late actie op melding van het meetsysteem door de instantie belast met de uitvoering van het nazorgplan. Ten aanzien van het systeem zelf is een mogelijkheid van gedeeltelijk niet functioneren door degeneratie. Voor een inschatting van de waarschijnlijkheid van degeneratie over tientallen jaren is geen informatie voorhanden, anders dan de praktijkervaring tot dusver.

De gedane aanbevelingen hebben vooral betrekking op het adequaat reageren op alarmmeldingen en het besteden van aandacht in het nazorgplan dat het functioneren van het systeem niet wordt aangetast.

5. Referenties

[1] PHAWorks 4.1 for Windows
Primatech
445 Hutchinson Ave. Suite 200
Columbus, Ohio 43225
USA

6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Enviro Advice BV
Postbus 7108
3430 JC Nieuwegein

Namen en functies van de projectmedewerkers:

- M.Th. Logtenberg (TNO-MEP, afdeling Industriële Veiligheid - voorzitter)
- A.A. Smit (Stortplaats Het Friese Pad)
- C. Sollman (Afvalzorg Deponie)
- W. Kragten (Enviro Advice BV)
- A. Rödel (Progeo)
- A. Steerenberg (Enviro Control Services BV)
- W. Dam (Provincie Noord-Holland)
- A. Kant (Ingenieursbureau Oranjewoud)
- E. de Beer (Provincie Flevoland)
- R. Overduin (Provincie Flevoland)
- J. Hörst (Provincie Flevoland)
- M. Sman (Provincie Flevoland)
- L. Stax (TNO-MEP, afdeling Industriële Veiligheid)

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

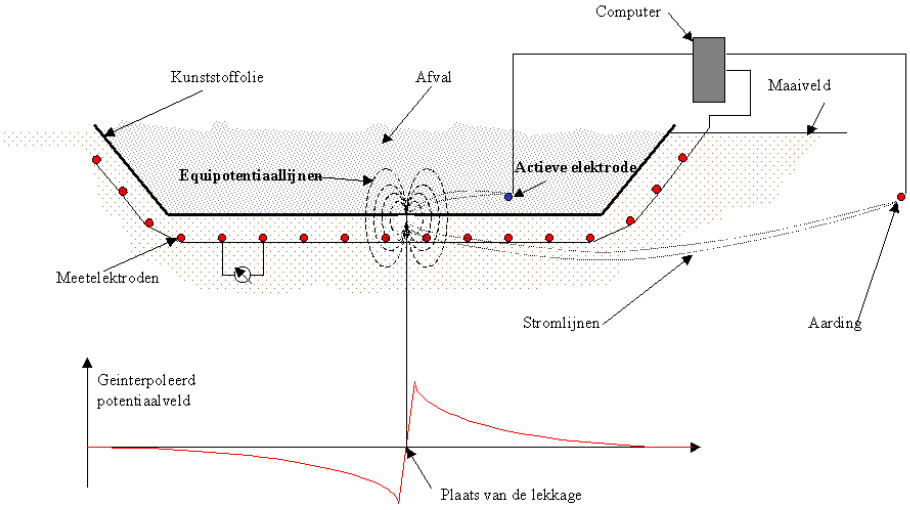
Eind mei 2000

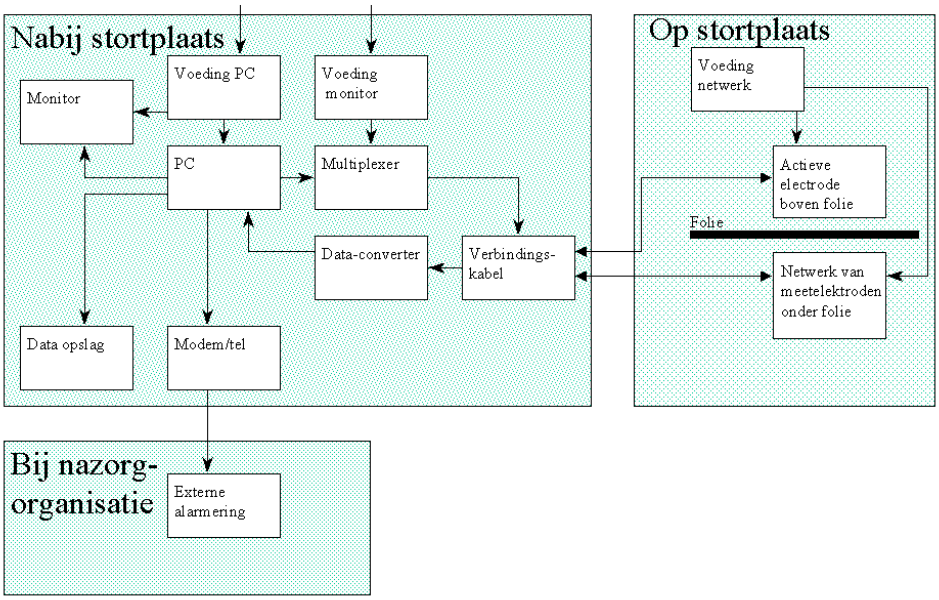
Ondertekening:	Goedgekeurd door:
M.Th. Logtenberg M.Phil. project coordinator	Ir. J. Schaafsma afdelingshoofd

Bijlage 3.1 Schetsen systeem Geologger

GEOLOGGER SYSTEMS

Werkingsprincipe GEOLOGGER





Bijlage 3.2 Worksheets FMECA Geologger

Worksheet - Index

1 System 1: PC
2 System 2: Voeding PC
3 System 3: Monitor
4 System 4: Data-opslag
5 System 5: Multiplexer
6 System 10: Onder netwerk
7 System 13: Externe alarmering

Worksheet

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

Session: (1) 30-05-00
System: (1) PC
Drawings: Functionele eenheden Geologger

DESCRIPTION	FAILURE MODES	CAUSES	EFFECTS	SAFEGUARDS	S	L	R	RECOMMENDATIONS
IBM-compatible DOS, >286, + watchdog, kaarten: modem, grafisch, eventueel + programma Windows (-40 tot +80 C)	Niet functioneren	Geen voeding	Geen informatie tot reparatie	Optioneel positieve alarmgeneratie door PC, bij achterblijven waarschuwing	4	4	9	Nagaan reeel tijdsnterval voor waarschuwing
		Diefstal, sabotage	Idem	Optioneel: deurcontact met alarm + versterkte kast	4			
		Uitval componenten (vocht, uitval kastverwarming indien nodig)	Idem	Reset en reboot (meerdere malen per dag), watchdog	4	4	9	Onderbrengen in uitiliteitsgebouw (temperatuur, etc.)
		Blikseminslag	Idem	Bliksembeveiliging (optioneel)	4	5	10	
		Onjuiste bediening (inspectie)	Idem	Alarmgeneratie	4	5	10	
		Mechanische impact	Idem	Alarmgeneratie	4	5	10	
		Ongedierte	Idem	Alarmgeneratie	4	5	10	
	Verkeerd signaal (wel lek ,geen signaal)	Geen						
	Verkeerd signaal (geen lek, wel signaal)	Geen						

Worksheet

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

Session: (1) 30-05-00
System: (2) Voeding PC
Drawings:

DESCRIPTION	FAILURE MODES	CAUSES	EFFECTS	SAFEGUARDS	S	L	R	RECOMMENDATIONS
Standaard, optioneel backup (noodstroomvoorziening)	Geen stroomvoorziening	Geen levering	Zie PC	Alarmgeneratie				Eventueel preventief inspecteren
	Uitval component	Veroudering	Zie PC	Alarmgeneratie				

PHAWorks 4.1 by Primatech Inc.

Worksheet

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

Session: (1) 30-05-00
System: (3) Monitor
Drawings:

DESCRIPTION	FAILURE MODES	CAUSES	EFFECTS	SAFEGUARDS	S	L	R	RECOMMENDATIONS
Standaard normaal verkrijgbaar	Geen weergave informatie	Falen componenten	Geen					

Worksheet

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

Session: (1) 30-05-00
System: (4) Data-opslag
Drawings:

DESCRIPTION	FAILURE MODES	CAUSES	EFFECTS	SAFEGUARDS	S	L	R	RECOMMENDATIONS

Worksheet

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

Session: (1) 30-05-00
System: (5) Multiplexer
Drawings:

DESCRIPTION	FAILURE MODES	CAUSES	EFFECTS	SAFEGUARDS	S	L	R	RECOMMENDATIONS
Leverancier ProGeo monitoring	Falen van componenten	Veroudering	Geen informatie	Alarmgeneratie	4	4	9	
	Gedeeltelijk functioneren	Niet waarschijnlijk door interne controle						

Worksheet

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

Session: (1) 30-05-00
System: (10) Onder netwerk
Drawings:

DESCRIPTION	FAILURE MODES	CAUSES	EFFECTS	SAFEGUARDS	S	L	R	RECOMMENDATIONS
Geologger beschrijving (april 2000)	Geen signaal wel lek	Blikseminslag, etc	Maximaal twee kabels defect		4	5	10	
		Te klein lek voor meting (<5 mm), grid niet voldoende fijnmazig	Geen informatie over lek	Testlek (performance test, gebeurt éénmaal per jaar bij inspectie)	4	3	8	
		Te droge omgeving (bijvoorbeeld helling)	Tijdelijk geen meting, totdat weer voldoende vochtigheid aanwezig is.		4	5	10	
		Kabel defect (graafwerkzaamheden)	Geen informatie over lek ter plaatse	PC meet verstoring	3	4	8	In bestemmingsplan en contracten regelen wat mag en kan
		Vocht indringen via afdichting, corrosie	Aantasting kabel, bij geringe aantasting geen teruggang van meetnauwkeurigheid	Bij inspectiebeurt vast te stellen	3	3	7	Levensduurtesten moeten hierover meer informatie geven
	Wel signaal geen lek	Geen oorzaak bekend						
	Signaal verkeerde plaats	Aanlegfouten	Leklocatie niet of moeilijk vast te stellen	Kwaliteitsborging				

PHAWorks 4.1 by Primatech Inc.

Worksheet

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

Session: (1) 30-05-00
System: (13) Externe alarmering
Drawings:

DESCRIPTION	FAILURE MODES	CAUSES	EFFECTS	SAFEGUARDS	S	L	R	RECOMMENDATIONS
Actie op basis van alarmmelding Geologger	Geen actie op melding	Te weinig meldingen geen aandacht er meer voor	Lek permanent aanwezig	Jaarlijkse inspectiebeurt	1	3	3	Opnemen jaarlijkse inspectiebeurt in nazorgplan. Uitbesteding melding aan een professionele organisatie
	Te late actie op melding	Organisatieprobleem	Lek totdat actie uitgevoerd	Jaarlijkse inspectiebeurt	2	3	6	

Risk Ranking for GEOLOG

SEVERITY:
1 Serious
2 High
3 Medium
4 Low
5 None

LIKELIHOOD:
1 High
2 Moderate
3 Medium
4 Low
5 Very Low

RANKING:

Likelihood \ Severity	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	7	8
3	3	6	7	8	9
4	4	7	8	9	10
5	5	8	9	10	10

PHAWorks 4.1 by Primatech Inc.

Severity Value Frequencies

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

1	2	3	4	5	sum	
0	0	0	7	0	7	PC
0	0	0	0	0	0	Voeding PC
0	0	0	0	0	0	Monitor
0	0	0	0	0	0	Data-opslag
0	0	0	1	0	1	Multiplexer
0	0	2	3	0	5	Onder netwerk
1	1	0	0	0	2	Externe alarmering
1	1	2	11	0	15	PROJECT TOTAL

Severity Value Distribution

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

1	2	3	4	5	sum	
0%	0%	0%	100%	0%	7	PC
0	0	0	0	0	0	Voeding PC
0	0	0	0	0	0	Monitor
0	0	0	0	0	0	Data-opslag
0	0	0	100	0	1	Multiplexer
0	0	40	60	0	5	Onder netwerk
50	50	0	0	0	2	Externe alarmering
7%	7%	13%	73%	0%	15	PROJECT TOTAL

Risk Value Frequencies

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	sum	
0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	6	PC
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Voeding PC
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Monitor
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Data-opslag
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	Multiplexer
0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	5	Onder netwerk
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	Externe alarmering
0	0	1	0	0	1	1	2	3	6	14	PROJECT TOTAL

Risk Value Distribution

Company: Geologger
Facility: Afvalzorg deponie

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	sum	
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	67%	6	PC
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Voeding PC
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Monitor
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Data-opslag
0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	1	Multiplexer
0	0	0	0	0	0	20	40	0	40	5	Onder netwerk
0	0	50	0	0	50	0	0	0	0	2	Externe alarmering
0%	0%	7%	0%	0%	7%	7%	14%	21%	43%	14	PROJECT TOTAL

Bijlage 4a Beschrijving stortplaats Schoteroog

In de voorgaande paragrafen is beschreven wat gelijkwaardigheid is. Daarin is toegelicht dat gelijkwaardigheid mede wordt bepaald door de eigenschappen van de stortplaats.

Inleiding
Als eerste betreft dit de stortplaats “Schoteroog” (kortweg: Schoteroog). Om de gelijkwaardigheid van Geologger op Schoteroog te kunnen vaststellen, is inzicht noodzakelijk in de eigenschappen van die stort. Dit inzicht betreft:
- aard van het gestorte afval;
- vorming van stortgas;
- aanwezigheid van stoffen die het functioneren van de bovenafdichting kunnen bedreigen;
- afwerkvorm;
- zettinggedrag van de stort.

Deze aspecten zijn in de onderstaande paragrafen beschreven.

Korte beschrijving van Schoteroog
Schoteroog is een stortplaats te Haarlem. In de periode van 1971 tot 1977 is de stort gebruikt als stort voor huisvuil, puin en bedrijfsafval. Later is er nog eens 400.000 m3 afvalstoffen gestort [Stam].
Op dát afval zal als onderdeel van de sanering van Schoteroog een bovenafdichting aangebracht worden volgens het principe van IBC. Die sanering houdt in dat rondom Schoteroog een vloeistofdichte schermwand is aangebracht.

Figuur IV.1 Foto genomen vanaf de stortplaats Schoteroog

Eigenschappen Schoteroog in relatie tot de bovenafdichting

Van de aard van het gestorte afval is, in ieder geval van het afval uit de periode van 1971 – 1979 weinig bekend.

Er kan geconstateerd worden dat:

- er voor de vorming van stortgas conform het Stortbesluit gewerkt kan worden;
- het niet waarschijnlijk is dat zich gassen vormen die de bovenafdichting kunnen aantasten;
- er geen temperatuurverhogingen gemeten worden;
- de zetting beperkt is.

In die zin mag van Schoteroog niet verwacht worden dat er dusdanige afwijkingen zijn ten opzichte van een “reguliere” stortplaats, dat hier bijzondere maatregelen getroffen moeten worden.

Bijlage 4b Beschrijving stortplaats Het Friese Pad

Inleiding
Stortplaats Het Friese Pad ligt ongeveer twee kilometer ten noordoosten van Emmeloord. De stortplaats is in gebruik sinds 1977 voor afval uit de omringende gemeenten.

Korte beschrijving van Het Friese Pad
Op de stortplaats is huishoudelijk afval, grof huishoudelijk afval, gemeentelijk afval, agrarisch afval, bouw- en sloopafval, en overig bedrijfsafval verwerkt. Ook is er zuiveringsslib gestort en onder bepaalde voorwaarden ziekenhuisafval. Er is geen BACA/BAGA-afval gestort. In totaal is 2,3 miljoen ton afval gestort. De stortplaats is gesloten in 1999.
De stortplaats is niet voorzien van een onderafdichting.

Eigenschappen Het Friese Pad in relatie tot de bovenafdichting
Er vindt vorming van stortgas plaats. Dit wordt actief onttrokken en verwerkt. Qua afwerkvorm is Het Friese Pad een vrijwel rechthoekige stortplaats.

Gelet op de aard van het afval, hoeft geen bijzonder zettinggedrag verwacht te worden. Het zettingverloop wordt conform het Nazorgplan bijgehouden. De zetting van de ondergrond is vastgesteld op 20 cm (Oranjewoud, 2000).

Ten aanzien van zettinggedrag, gasvorming en eventueel andere aspecten, kan geconcludeerd worden dat Het Friese Pad een reguliere stortplaats is.

Figuur IV-2 Zijaanzicht van de stortplaats Het Friese Pad

Bijlage 5 Stellungnahme zum Geologger (BAM, 22 juni 1994)

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Postanschrift:
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
12200 Berlin

Telefon: (030) 81 04-0
Telefax: (030) 8 11 20 29
Telex : 18 32 61 bamb d

Bankverbindungen:
Bundeskasse Berlin West
Landeszentralbank Berlin
Kto.-Nr. 100 010 18
BLZ 100 000 00

Postbank Berlin
Kto.-Nr. 200 102
BLZ 100 100 10

Herrn
Dipl.-Ing. Uwe Brodtmann
PROGEO Geotechnologiegesellschaft mbH
Huttenstraße 31

10553 Berlin

Ihr Zeichen	Ihre Nachricht vom	Unser Zeichen	Telefon-Durchwahl	Fax-Durchwahl	Datum
		8.30/Aug/Bü	8104-1830	8104-1837	22.06.94

Akt.-Z.: 8.30/1132/94

Stellungnahme zum GEOLOGGER, einem System für die Dichtigkeitsüberwachung und Leckortung an Deponiedichtungen, Dichtungen zu Sicherung von Altlasten, Erdtanks u. ä.

Nutzen des GEOLOGGER's zum Schutzdes Grundwassers

Einem Leckdetektionssystem an der Deponiebasisabdichtung wie auch an Sicherungssystemen für Altlasten, Erdtanks und dergl. ist aus Gründen des Umweltschutzes eine hohe Bedeutung beizumessen, da hierdurch Undichtigkeiten an technischen Barrieren sofort erkannt werden können, wenn sie entstehen, d. h. zeitlich bevor weite Bereiche des darunterliegenden Erdreiches bzw. Grundwasserleiters kontaminiert werden könnten.

Am häufigsten muß als Folge von Herstellungsfehlern und wenig definierten Baustellenbeanspruchungen mit dem Auftreten einer Undichtigkeit an der Deponiebasis während der Bauphase und nach der Abnahme des Dichtungssystems beim Einbringen der untersten Müllschichten gerechnet werden. In diesem Zeitraum sind letztmalig mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand noch Reparaturen an der Dichtung möglich, vorausgesetzt daß die Fehler rechtzeitig erkannt werden.

Besucheranschriften:
Stammgelände Lichterfelde
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Stammgelände Lichterfelde
Unter den Eichen 44-46
12203 Berlin

Zweiggelände Adlershof
Rudower Chaussee 5
12489 Berlin

Zweiggelände Friedrichshagen
Müggelseedamm 109-111
12587 Berlin

Zweiggelände Königs Wusterhausen
Luckenwalder Straße 98
15711 Königs Wusterhausen

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM) Blatt 2

Hier wird der besondere Nutzen des GEOLOGGER's gesehen, da ohne ihn Leckagen in der Vergangenheit erst um viele Jahre zeitlich verzögert, i. d. R. über die Schadstoffausbreitung im Grundwasserabstrom und Brunnen, detektiert wurden, wenn bereits bedrohliche Situationen wie die erwähnte Kontamination des Grundwasserleiters eingetreten waren.

Neben der Früherkennung von Leckagen erscheint auch die ständige Kontrolle der Funktionstüchtigkeit von Dichtungssystemen über größere Zeiträume dringend geboten. Wenn auch bei den heutigen zum Einsatz kommenden fehlerausgleichenden bzw. redundanten Abdichtungssystemen Undichtigkeiten beispielsweise durch differentielle Setzungen relativ selten auftreten dürften, so muß es in Verbindung mit den zunehmenden Akzeptanzproblemen beispielsweise bei der Planung von Deponien und Abfallverwertungszentren als ausserordentlich vorteilhaft angesehen werden, wenn es auch hier mit dem GEOLOGGER zukünfig möglich sein dürfte, kontinuierlich die einwandfreie Funktion einer Abdichtungsmaßnahme belegen zu können.

Vorzüge des Produkts, technische Durchführbarkeit, Innovationshöhe

Der Stellungnehmende begleitete die Entwicklung des Leckortungssystems GEOLOGGER der Firma PROGEO Geotechnologiegesellschaft GmbH im Rahmen des BMFT-Verbundvorhabens "Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen". Dadurch bestand die Gelegenheit, einen Überblick über verschiedenartige Leckdetektionssysteme mit ihren Vor- und Nachteilen zu gewinnen. Das zu beurteilende System stellt eine völlige Neuentwicklung dar. Es verspricht allen folgend genannten, wichtigen Anforderungskriterien an ein Leckdetektionssystem überzeugend gerecht zu werden:

- hohe Ortungsgenauigkeit,
- hohe Ansprechempfindlichkeit,
- physikalisch-chemisch-biologische Beständigkeit der erdgebundenen Bauelemente,
- Integrierbarkeit in Deponie-Regeldichtungssysteme (TA Abfall),
- minimale Verzögerung bzw. Behinderung des normalen Bauablaufs bei der Herstellung des Deponiedichtungssystems,
- leichte Bedienbarkeit,
- hohe Lebenserwartung durch Einsatz ausgesuchter, langlebiger Werkstoffe,
- Wirtschaftlichkeit im Bau (Endpreis: ca. DM 40/m^2; ca. DM 150/m^2 beim Leckortungssystem LEOS der Firma Siemens) und im Betrieb.

Der notwendigen hohen Lebenserwartung des Leckortungssystems wurde in der Entwicklung besonders Beachtung geschenkt. In diesem Zusammenhang wurden Fragen zur Beständigkeit der erdgebundenen Komponenten (Elektroden, Anschlüsse, Busleitungen) sowie hinsichtlich des Verlegekonzepts, durch die Entwicklung einer Polyethylen-Einbettungstechnik für die Anschlüsse, durch den Einsatz langzeitbeständiger Materialien (Polyethylen, Carbonfaser) sowie durch die Konkretisierung eines Verlegekonzepts überzeugend beantwortet.

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM) Blatt 3

Ein anderes Leckdetektionssystem mit einer vergleichbar guten Synthese positiver Eigenschaften ist dem Beurteilenden bislang nicht bekannt geworden. Die Effektivität und Wirtschaftlichkeit dieses Systems bei der Installation und dem Betrieb ergibt sich letztlich aus dem einfachen Meßprinzip der Erfassung des elektrischen Widerstandes zwischen Ober- und Unterseite der Kunststoffdichtungsbahn. Die Ansprechempfindlichkeit ist hoch, da der spezifische Widerstand der intakten Dichtungsbahn um mehrere Zehnerpotenzen höher liegt als der spezifische Widerstand im Bereich eines Lecks.

Aufgrund der rasterbildenden Konfiguration der Meßelektroden über und unter der Dichtungsbahn erzielt man bei Parallelabständen der Elektroden von 10 m eine Leckeingrenzung auf 1 m genau (in beiden Richtungen). Als Systemelemente benötigt man lediglich die bandförmigen Elektroden über und unter der Dichtungsbahn bzw. zu beiden Seiten der Tankwandung, mehrere Flachbandkabel als Busleitung und einen Computer als Auswerteeinheit. Die erdgebundenen Komponenten haben minimale Dickenabmessungen und lassen sich dadurch gut in Regelabdichtungssysteme, wie die TA Abfall sie fordert, integrieren.

Von der Funktionsfähigkeit des Systems konnte sich der Stellungnehmende an einem Kleinversuchsfeld (ca. 15 mx 15 m) der Firma v. Witzke in Essen überzeugen.

Auf einem 2.500 m² großen Testfeld in Lemförde wurden im April 1994 von PROGEO weitere Versuche gefahren, die u. a. zur Beseitigung einer Empfindlichkeit des GEOLOGGER - Systems gegenüber elektrischen Einstreuungen, beispielweise durch eine vorbeiführende ICE-Bundesbahnstrecke, führten.

Ein weiterer Großversuch mit Randbedingungen und Umwelteinflüssen, wie sie sich im praktischen Einsatz des Systems ergeben können, ist in Kürze geplant. Es wird davon ausgegangen, daß als Ergebnis des Großversuches lediglich noch kleine Korrekturen am System vorzunehmen sind. An der prinzipiellen Einsatzbarkeit und technischen Durchführbarkeit des GEOLOGGER's wird nicht gezweifelt.

Marktchancen

Die Firma PROGEO Geotechnologiegesellschaft mbH hat nach unserer Kenntnis bereits mit der Vermarktung begonnen. Mittels eines Prospekts wird gezielt mit Personen und Institutionen, welche mit dem Betrieb von Deponien betraut sind, Kontakt aufgenommen. Mit Hilfe der Fachzeitschrift "Müll und Abfall" ist der Prospekt verbreitet worden. In Anbetracht dieser Aktivitäten, der Dringlichkeit, leistungsfähige Leckortungssysteme installieren zu müssen (siehe obige Ausführungen zum Schutz des Grundwassers) und vor dem Hintergrund, daß einige Deponiebetreiber bereits großes Interesse an dem System gegenüber der Firma PROGEO bekundet haben, sind die Marktchancen für das Produkt als sehr gut einzuschätzen.

i. A.

Dir. u. Prof. Dr.-Ing. H. August

Bijlage 6 Foto's veldbezoek Münchehagen (16 augustus 2000)

Foto 1: Toegang tot stortcompartiment in afwerking. Zichtbaar zijn de HDPE-folie, de drainagemat en de drainage- en afwerklaag

Foto 2: De diverse rollen met kabels voor het Geologger-systeem zijn zichtbaar

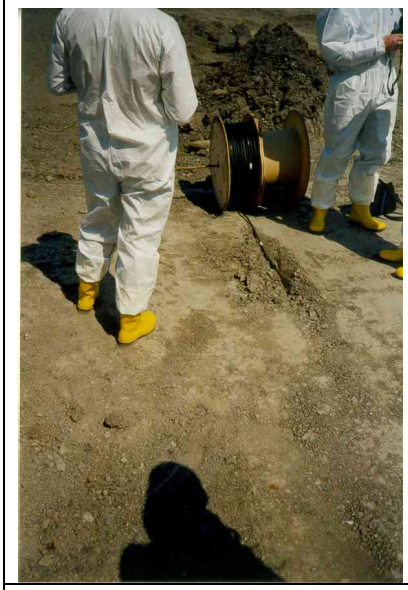


Foto 3: Een kabel van het Geologger-systeem die deels is aangebracht. De rest van de kabel zit nog op de rol

Foto 4: Kabelrol van het Geologger-systeem. De kabel "verdwijnt" onder de kunststoffolie

Foto 5: Kabel die is aangebracht in de steunlaag en waar te zijner tijd de kunststoffolie overheen komt	**Foto 6**: 20-Aderige kabel van het Geologgersysteem

Bijlage 7 Overzicht van stortplaatsen waar Geologger is gerealiseerd

1999-2000

Deponie Jakusevec, Onderafdichting van een te verplaatsen oude stortplaats over een oppervlakte van 80.000 m² (2000)
Opdrachtgever: VIADUKT Construction Stock Company, Zagreb, Kroatië

Deponie Münchehagen, Bovenafdichting van een oude stortplaats met een oppervlakte van 94.000 m² (2000/01)
Opdrachtgever: Köster Bau AG, Osnabrück

WISMUT-Deponie Lichtenberg, bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van 94.700 m² (2000-02)
Opdrachtgever: Heilit + Woerner Bau AG, Erfurt

Deponie Wesuwe II, bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van 40.000 m² (2000)
Opdrachtgever: Abfallwirtschaftbetrieb des Landkreis Emsland, Meppen

Altlast Bremer Vulkan, bovenafdichting van een voormalige werf met een oppervlakte van 48.000 m² (2000)
Opdrachtgever: ARGE Altlastensicherung Bremer Vulkan-Gelände, Bremen

Deponie Gijon, onderafdichting van een stortplaats voor industrieel afval over een oppervlakte 22.000 m² (2000)
Opdrachtgever: TERRATEST S.A, Gijon, Spanje

Deponie Montoliu, onderafdichting van een huisvuilstort over een oppervlakte van 34.000 m² (1999)
Opdrachtgever: FCC S.A., Lerida, Spanje

Deponie Sigmundskron, bovenafdichting van een oude stortplaats met een oppervlakte van 300 m² (1999)
Opdrachtgever: Stadt Bozen, Bozen, Italië

Deponie Wesuwe I, bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van 48.000 m² (1999)
Opdrachtgever: Abfallwirtschaftbetrieb des Landkreis Emsland, Meppen

Testveld Großbeeren, bovenafdichting van een testveld met GEOLOGGER met een oppervlakte van 500 m² (1999)
Opdrachtgever: PROGEO, Großbeeren

Deponie Lichte, bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van von 1.500 m² (1999)
Opdrachtgever: Abfallwirtschaftgesellschaft des Rems-Murr Kreises, Kaisersbach

Asfalt-testveld Großbeeren, controle van een parkeerplaats met asfalt door middel van een testveld met GEOLOGGER met een oppervlakte van 1.500 m² (1999)
Opdrachtgever: PROGEO, Großbeeren

1996-1998
Deponie Haslbach, bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van 142.000 m² (1997/98/99)
Opdrachtgever: Stadtwirtschaft Regensburg

Deponie Kleinmachnow, bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van 5.000 m² (1998/99)
Opdrachtgever: UTHE GmbH, Bückeburg

Deponie La Cerdanya, onderafdichting van een huisvuilstort over een oppervlakte van 10.000 m² (1998/99)
Opdrachtgever: ROMA S.A. Belver de Cerdanya, Spanje

Altablagerung Bemerode II , bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van 60.000 m² (1998)
Opdrachtgever: Deutsche Messe AG (Hannover)(dit is het terrein van de Expo 2000)

Deponie Berndshof, bovenafdichting van een oude stortplaats over een oppervlakte van 50.000 m^2. Inrichten van een testveld met een oppervlakte van 200 m² voor de controle van bentonietmatten (1997)
Opdrachtgever: Landkreis Uecker Randow

Altablagerung Bemerode I , Bovenafdichting van een oude stortplaats met een oppervlakte van 30.000 m² (1997)
Opdrachtgever: Deutsche Messe AG (Hannover)(dit is het terrein van de Expo 2000)

Deponie Waldering, bovenafdichting van een oude monodeponie over een oppervlakte van 14.000 m² (1996/97)
Opdrachtgever: Stadtwerke Rosenheim

1994 - 1995
Stortplaats Vlagheide te Schijndel, aanleggen van een testveld met een oppervlakte van 5.000 m² als onderdeel van de bovenafdichting (1995)
Opdrachtgever: Gemeente s-Hertogenbosch

Stortplaats Boeldershoek te Hengelo, aanleggen van een testveld met een oppervlakte van 1.250 m² (1994)
Opdrachtgever: Gemeente Hengelo

1992 - 1993
Testveld Lemförde, bewaking van de dichtheid van een bekken over een oppervlakte van 900 m² (1993)
Opdrachtgever: NAUE Fasertechnik GmbH

Controle van de dichtheid van een bekken over een oppervlakte van 200 m² (1992)
Opdrachtgever: von Witzke GmbH & Co. KG, Essen