



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Directoraat-Generaal Milieubeheer
Directie Bodem

Richtlijn drainage- systemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen



nr. 1993/1

P u b l i k a t i e r e e k s b o d e m b e s c h e r m i n g



Richtlijn drainage- systemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen

Ministerie VROM
CS / Dienst Documentaire Informatie
Bibliotheek VROM/NIROV
interne postcode 722
Postbus 20951, 2500 EZ DEN HAAG
Oranjevuitensingel 90
Dienst: B3M
Signatuur: 99895-100/002

Deze uitgave is schriftelijk te bestellen bij:
Distributiecentrum VROM,
Postbus 351,
2700 AJ Zoetermeer

Tel. 079 - 449 449

Prijs / 18,00

RICHTLIJN DRAINAGESYSTEMEN EN CONTROLESYSTEMEN

GRONDWATER VOOR STORT- EN OPSLAGPLAATSEN

- datum : februari 1993
- opdrachtgever : Ministerie van VROM
- opstellers : Heidemij Advies BV
- ing. W.F. ter Hoeven
 - ir. M.J.J. van der Weiden
 - ir. F.R. Goossensen
- begeleidingscommissie : ing. P.A. Ruardi, Ministerie van VROM, Den Haag;
ir. F.G. Bisschop, Inspectie Milieuhygiëne, Zwolle;
ir. D. Boels, Staring Centrum, Wageningen;
mevrouw drs. B. Kok, Ver. van Afvalverwerkers, Utrecht;
ir. A.J. Laman Trip, Stichting Nazorg, Den Haag;
ir. R.O.G. Franken, RIVM, Bilthoven;
dr. Th. Aalbers, RIVM, Bilthoven.

Het voorliggende document is voortgekomen uit de richtlijn bodembeschermende voorzieningen, die enige jaren geleden is gepubliceerd als nr. 78 Reeks Bodembescherming. Door actualiseren en aanvullingen daarop behandelt de "Richtlijn drainagesystemen en controlesystemen" met name de hydrologische en hydraulische aspecten van voorzieningen behorende tot de boven- en onderafdichtingsconstructie voor stort- en opslagplaatsen. Bij het opstellen van richtlijnen voor die constructies is het voorliggende document als basisstuk gehanteerd.

Inhoud

1	INLEIDING	5
2	UITGANGSPUNTEN	6
3	UITWERKING TOT ONTWERPCRITERIA	11
	Grondwaterstand	11
3.1	Stoffen	11
3.2	Niveau van de stoffen ten opzichte van GHG	11
3.3	Zettingscriterium	12
3.4	Maximale afstand stoffen tot GHG/GLG	12
	Percolaat	13
3.5	Onttrekkingssystemen voor percolaat	13
3.6	Controle	13
3.7	Hydraulisch niveau percolaat	14
3.8	Consolidatie-percolaat	14
3.9	Voorziening bij eindafwerking	14
	Controlesystemen voor grondwaterkwaliteit	14
3.10	Horizontaal controlesysteem	15
3.11	Verticaal controlesysteem	15
3.12	Waarnemingen	15
3.13	Combinatie van controlesystemen	15
3.14	Bijzondere omstandigheden	16
	Afvoer van oppervlakkig afstromend water	16
3.15	Bovenafdichting	16
3.16	Handhaven stabiliteit	16
	Afvoer van ingedrongen regenwater uit afdekklagen	16
3.17	Geïnfiltreerd regenwater	17
3.18	Drainerende voorziening	17
3.19	Controle	17
4	RICHTLIJNEN	18
4.1	Ligging van de stoffen ten opzichte van het grondwater	18
4.2	Afvoersystemen voor percolaat	22
4.3	Controlesysteem voor de grondwaterkwaliteit	32
	4.3.1 Horizontaal controlesysteem	32
	4.3.2 Verticale controlesystemen	35
4.4	Afvoersystemen voor oppervlakkig afstromend water	40
	Literatuur	43

BIJLAGEN:

	<u>Blz.</u>
1 Hydrologische aspecten van een controledrainagesysteem	44
2 Bepaling van de hoogste en laagste grondwaterstand uit grondwatertrappen	52
3 Stoffenkeuze, detecteerbaarheid en werkwijze voor het signaleren van een lekkage door controledrains	56
4 Ontwerpaspecten van een percolaat-drainagesysteem	70
5 Aanwijzingen voor geohydrologische modelberekeningen	81
6 Sterkteberekening van percolaatdrains	83

FIGUREN:

1 Situatie stortvakken met principe van systemen	25
2 HDPE-afvoersysteem voor percolaat	27
3 Gecontroleerd prefab HDPE-kade-doorvoerstuk	28
4 Voorbeeld van een grindkoffer	29
5 Voorbeeld voor toegankelijkheid controledrains	36

1 INLEIDING

In het kader van de uitvoering van de regelgeving (in het bijzonder op grond van de Wet bodembescherming) ten aanzien van het storten en opslaan van verontreinigende stoffen, dient door het bevoegd gezag getoetst te worden of de voorgenomen handelingen en te realiseren inrichtingen voldoen aan de gestelde regels met betrekking tot de bescherming van de bodem. Deze toetsing zal plaatsvinden door een beoordeling van onderzoeksrapportages, milieu-effectrapportages, van ontwerpen en van bestekken.

Ter verbetering van bestaande regelgeving, i.c. de "Richtlijn Gecontroleerd Storten 1985", is een nieuwe algemene maatregel van bestuur door het Ministerie van VROM in procedure gebracht. Deze instructie-AMvB, het zogenoemde Stortbesluit Bodembescherming, stelt een aantal basiseisen aan inrichtingen voor het opslaan of storten van bodembedreigende stoffen voorzover dit niet in overdekte ruimten of in silo's, tanks, containers e.d. plaatsvindt. Voorts wordt het algemeen kader voor toetsingen aangegeven en is de mogelijkheid opgenomen nader invulling te geven aan de regelgeving door nadere richtlijnen (regels te stellen door de Minister). Met de Uitvoeringsregeling Stortbesluit Bodembescherming wordt uitvoering gegeven aan de artikelen 1, 5, 6, 11 en 12 van het Stortbesluit. In deze Uitvoeringsregeling wordt verwezen naar een aantal Richtlijnen. De voorliggende Richtlijn is daar één van.

In deze richtlijn wordt na de behandeling van de uitgangspunten (hoofdstuk 2) en de nadere uitwerking hiervan (hoofdstuk 3), ingegaan op:

- a. het bepalen van de ligging van de stoffen ten opzichte van het grondwater (par. 4.1);
- b. ontwerpaspecten van afvoersystemen voor percolaat (par. 4.2);
- c. dimensionering van controlesystemen en aspecten van monsternamen (par. 4.3);
- d. aspecten van het afvoersysteem voor oppervlakkig afstromend water (par. 4.4).

In de bijlagen worden een aantal onderzoeksaspecten, berekeningen en ontwerpuitgangspunten nader uitgewerkt.

2 UITGANGSPUNTEN

De uitgangspunten van het bodembeschermingsbeleid bij potentiële lokale verontreinigingsbronnen zijn in het Stortbesluit Bodembescherming aangegeven.

De gehanteerde en hierna toe te lichten IBC-criteria (Isoleren, Beheersen, Controleren) beogen een kader aan te geven voor het milieuhygiënisch verantwoord opslaan, gebruik en storten van bodembedreigende materialen op of in de bodem.

In relatie met de in deze richtlijn te behandelen onderwerpen kunnen hierop de volgende toelichtingen worden gegeven.

Isolatie

Voorop staat dat de opslag of stort zodanig moet zijn geïsoleerd dat ook in de toekomst geen bodemverontreiniging kan ontstaan. Er moet een zodanige isolerende voorziening worden getroffen aan de onderzijde en bovenzijde van de stoffen, dat bodemverontreiniging ook op lange termijn zo veel mogelijk wordt voorkomen. Daartoe moet de opslag of stort, overeenkomstig de voorwaarden van Stortbesluit bodembescherming, boven de hoogste grondwaterstand worden gesitueerd. In de meeste gevallen is bij een opslag of stort boven het hoogste grondwaterniveau de terugneembaarheid, beheersbaarheid en controleerbaarheid beter gewaarborgd dan bij een opslag of stort in het grondwater.

In enkele gevallen van opslaan of storten van stoffen kan er mogelijk met beperkte isolatievoorzieningen worden volstaan. Welke isolatievoorziening dient te worden getroffen is afhankelijk van de hoedanigheid van de stoffen (nat of droog), lokale omstandigheden en of er sprake is van opslaan of storten. Bij storten kan wat betreft de voorzieningen nog onderscheid worden gemaakt in stortperiode (opbouwfase) en nazorgperiode. Droge stoffen die droog worden opgeslagen kunnen veelal worden geïsoleerd door slechts een bovenafdichting aan te brengen. Daarmee wordt het ontstaan van percolaat en verontreiniging van de bodem verhinderd. Indien echter een (vrijwel) voortdurende aan- en/of afvoer van droge stoffen plaatsvindt, zal dat doorgaans een beletsel zijn voor droog storten en het tijdig aanbrengen van een bovenafdichting. In die gevallen is een onderafdichting en de opvang en afvoer van percolaat noodzakelijk. Hierbij dient evenwel, voor zover er een isolatieconstructie aan de onderzijde van de opslag is aangebracht, tevens zo spoedig als technisch mogelijk een bovenafdichting te worden aangebracht.

Bij natte stoffen die worden opgeslagen of gestort, dient in principe zowel een onder- als een bovenafdichting te worden aangebracht. De onderafdichting voorkomt vooral tijdens het opslaan of storten van natte stoffen het indringen van percolaat in de bodem. Met de bovenafdichting wordt vooral beoogd vanaf het moment dat (een deel van) de stoffen op of in de bodem zijn gebracht, het ontstaan van percolaat als gevolg van neerslag te voorkomen. Een bovenafdichting is uit een oogpunt van bodembescherming bij bepaalde "natte stoffen", die consolideren (zoals baggerspecie), niet noodzakelijk indien het percolaat en afstromend water aan de bovenzijde van de gestorte stoffen volledig worden opgevangen, verzameld en afgevoerd.

Dit geldt in principe ook voor niet-consoliderende stoffen bij toepassing van isolatiesystemen op basis van het verkrijgen van opwaartse grondwaterstroming.

Aangezien absolute garanties voor de effectiviteit van isolatiesystemen (nog) niet zijn te geven, zal voor de bovenafdichting gestreefd dienen te worden naar een ontwerp voor absolute (zo groot mogelijke) ondoorlatendheid op lange termijn.

Deze vorm van isolatie voorkomt percolaatvorming en daarmee vloeistofverliezen, die relatief verreweg de grootste bedreiging vormen voor de bodem. Voor de onderafdichting kunnen bepaalde basiseisen (minimum-ontwerp) worden geformuleerd, terwijl voorts afhankelijk van de aard van stort of opslag en de bodem ter plaatse verdergaande eisen en voorzieningen kunnen worden overwogen of voorgeschreven.

Het bepalen van de effectiviteit van afdichtingssystemen zal daarom een belangrijk onderdeel zijn van een milieu-effect-rapportage (MER).

Het bij het stortbedrijf zo snel mogelijk na het storten, dat wil zeggen stortvaksgewijze, aanbrengen van de bovenafdichting zal voorts een belangrijke bijdrage leveren aan het voorkomen van een bodembedreiging.

Beheersing

De situatie waarin de stoffen op of in de bodem zijn gebracht dient beheersbaar te zijn en in de toekomst te blijven.

Hieruit vloeien drie uitgangspunten voort. Ten eerste moet het percolaat, het afstromend water en eventuele lekkage- of morsvloeistof worden opgevangen, verzameld en afgevoerd. De afvoer kan op verschillende wijzen worden gerealiseerd. Indien het verzamelde water voldoet aan de eisen die door de waterkwaliteitsbeheerder worden gesteld kan lozing op het riool of rechtstreeks in het oppervlaktewater plaatsvinden. Veelal is het percolatiewater zodanig verontreinigd dat het eerst een behandeling moet ondergaan. Hierbij kan gedacht worden aan bepaalde zuiveringstechnieken. Ook is het mogelijk dat, met name bij een relatief hoog gehalte aan organische stoffen, in de opbouwfase van het stort(-vak) recirculatie van percolatiewater wordt toegepast. Een optimale en homogene bevochtiging is een goede garantie voor een stabiele gasontwikkeling uit dit afval.

Als tweede volgt uit de beheersingseis dat een opslag of stort zodanig moet zijn opgebouwd en dat de grondmechanische en geohydrologische situatie ter plaatse, de methode van het opslaan of storten en de voorzieningen zodanig moeten zijn, dat de stort terugneembaar is indien de bodem zo verontreinigd is of dreigt te raken dat sanering noodzakelijk is. De bodemafdichting kan door zijn aard naast isolatie ook verregaand het karakter van beheersing in zich dragen (geohydrologische isolatie-ontwerpen).

Het derde element van de beheersbaarheid bestaat uit de noodzaak om bij grootschalige opslag- en stortsituaties tijdig (bij de planvorming) te onderzoeken en aan te geven op welke wijze eventuele saneren en/of isoleren van de bodem moet plaatsvinden. Zonodig dienen reeds tijdens de aanlegfase daartoe voorzieningen te worden aangebracht.

Hiermee wordt voorkomen dat men zich pas op het moment dat (dreigende) bodemverontreiniging (als gevolg van calamiteiten of meer structureel, geleidelijk veroorzaakte verontreiniging) optreedt afvraagt op welke wijze maatregelen moeten worden getroffen en geen adequate maatregelen meer mogelijk zijn.

Controle

Aangezien het, ondanks het aanbrengen van isolerende voorzieningen en het opvangen, verzamelen en afvoeren van eventueel aanwezig percolaat en afstromend water, toch mogelijk is dat de hoedanigheden van de bodem worden beïnvloed door de opslag of stort, is controle in beginsel geboden. De controle dient zowel op de hoedanigheden van de bodem als op de bodembeschermende voorzieningen plaats te vinden. Tevens moet de controle zowel plaatsvinden gedurende het opslaan of storten als, voor zover het een stortsituatie betreft, tijdens de nazorgperiode van in principe onbepaalde tijdsduur na het beëindigen van het op of in de bodem brengen. De controle op de hoedanigheden van de bodem dient plaats te vinden zowel wat betreft (indien mogelijk) de vaste bestanddelen als het grondwater (voor ingebruikname) in de bodem. Daarbij moet in ieder geval de samenstelling van het grondwater benedenstrooms van en onder de opslag of stort alsmede ter referentie ook bovenstrooms regelmatig (frequentie volgens Stortbesluit) worden gecontroleerd. Controle zal plaatsvinden door het vergelijken van nul-waarnemingen (voordat de inrichting wordt aangelegd) met waarnemingen in latere jaren. Hiervoor dient onder en/of naast de opslag of stort zowel een verticaal als een horizontaal controlesysteem te worden ingericht. Op basis van gegevens van een geohydrologisch onderzoek dient dit systeem zodanig te worden ontworpen en uitgevoerd dat signaleren van eventuele beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit door de opslag of stort tijdig en in voldoende mate mogelijk is.

Bij een omvangrijk opslag- of stortoppervlak is in beginsel controle direct onder de opslag- of stort door een horizontaal drainagesysteem het meest doelmatig. Het drainagesysteem onder de opslag of stort dient zodanig te zijn ontworpen dat dit bij de controle, doch ook bij onverhoopte bodemverontreiniging kan worden afgepompt en daarmee verspreiding van verontreiniging beperkt. Deze aanvullende eis is te beschouwen als een beheersmaatregel en vraagt een lange technische levensduur. Het drainagesysteem werkt uitsluitend als de drainbuizen in het grondwater liggen, dat wil zeggen beneden de actuele grondwaterstand. In verband hiermee dienen de drainbuizen ruim beneden de laagst mogelijke grondwaterstand te worden aangebracht (Stortbesluit).

Indien echter de situatie ter plaatse het effectief werken van een horizontaal controlesysteem onmogelijk maakt, resteert een controlesysteem van (grondwater-)peilbuizen voorzien van filters. Een dergelijk verticaal controlesysteem is minder effectief dan het horizontale systeem met drainagebuizen omdat onder meer het lokaliseren van plaatselijke lekkage in de isolatie minder goed mogelijk is.

Bovendien duurt het vaak aanzienlijk langer voordat eventuele verontreiniging van het grondwater in de benedenstrooms gelegen controlepunten kan worden gesignaleerd en is de kans dat eventueel verontreinigd grondwater niet wordt opgevangen in de filters groter dan bij drainagebuizen.

Het inzicht verkregen uit het geohydrologisch onderzoek moet leiden tot een net van deze verticale controlepunten - eventueel met filters op verschillende diepten - benedenstrooms van de opslag of stort, waarmee een eventuele verontreiniging in het grondwater kan worden gesignaleerd.

Benedenstrooms dient het genoemde net van waarnemingspunten in ieder geval een raai met peilbuizen te omvatten, die zonder gevaar voor beschadiging of verstoring zo dicht mogelijk tegen de rand van de opslag of stort moet worden geplaatst. De raai dient haaks op de grondwaterstromingsrichting te worden uitgezet. De afstand tussen de verticale waarnemingspunten onderling, gemeten in de richting haaks op de grondwaterstromingsrichting dient nader te worden vastgesteld.

Aangezien het op termijn verloren gaan van het horizontale systeem aannemelijk is, zal bij optreden daarvan een verdichting van het verticale systeem door bijplaatsen van extra peilbuizen noodzakelijk zijn. Hoewel technieken voor het sleufloos aanbrengen van buizen door boren sterk in ontwikkeling zijn, kan vooralsnog niet van een vervangingstechniek voor het horizontale systeem worden uitgegaan.

Bovenstrooms dienen ter controle op de actuele grondwaterkwaliteit één of meer referentiepeilbuizen te worden geplaatst.

In de gevallen waarbij er sprake is van een bijzondere geohydrologische situatie, bijvoorbeeld een zeer diepe grondwaterstand, kunnen eveneens afwijkingen nodig zijn van de normale controlesystemen. Daarbij kan gedacht worden aan een aangepaste (verzwaarde) onderafdichtingsconstructie of andere percolaat-detectiesystemen, alsmede aan controle door een systeem met bemalen filters. Dit laatste systeem kan ook ingeschakeld worden als beheersmaatregel. Indien op een locatie geen goed beheers- en controlemiddel mogelijk is en ook in een afdichtingsconstructie een controle niet op doelmatige wijze kan worden opgenomen, is een locatie in principe ongeschikt voor een afvalberging.

De controle op de technische kwaliteit van de aangebrachte voorzieningen dient ten minste jaarlijks plaats te vinden. De voorzieningen moeten tevens worden onderhouden en zo mogelijk hersteld. Deze werkzaamheden dienen in ieder geval te worden uitgevoerd bij het aangebrachte controlesysteem en het opvang-, verzamel- of afvoersysteem voor percolaat en afstromend water. Bij bepaalde opslagvormen is een directe (visuele) inspectie van de onderafdichting eveneens mogelijk.

In andere gevallen, bijvoorbeeld bij stortterreinen, is alleen een indirecte controle op de isolerende voorziening aan de onderzijde mogelijk. Visuele inspectie behoort dan uiteraard niet tot de mogelijkheden.

De controle op de grondwatersamenstelling dient met de noodzakelijke frequentie (Stortbesluit) plaats te vinden. De controleverplichting voor horizontale monitoringssystemen begint zodra het bergen van reststoffen of afval is gestart.

Bij verticale systemen kan het aanvangsmoment eventueel later worden gekozen afhankelijk van stroomsnelheid van het grondwater en de afstand van de eerste fase van de inrichting tot de verticale waarnemingspunten (zie par. 4.3).

Gezien de hoge kosten van bemonstering en analyse bij een uitgebreid pakket van parameters kan een differentiatie worden overwogen van te onderzoeken stoffen. Daarbij kan een "uitgebreid onderzoek" worden afgewisseld met een beperkt onderzoek in de vorm van analyse op enkele "snelle" indicatoren (o.a. conservatieve stoffen en elektrisch geleidingsvermogen).

In hoofdstuk 3 worden de hiervoor gegeven overwegingen en uitgangspunten als ontwerpcriteria kort uitgewerkt en toegelicht. In hoofdstuk 4 worden de criteria in de vorm van richtlijnen weergegeven.

De bovenafdichting en onderafdichting van afvalstoffen als isolerende voorzieningen zijn behandeld in andere documenten. Aangezien deze voorzieningen slechts zijdelings bij de in deze richtlijn beschreven ontwerpaspecten betrokken zijn is er van afgezien telkenmale daarnaar te verwijzen. Het voorliggende document is bij een aantal van bedoelde documenten als basisinformatie gehanteerd.

Deze documenten zijn:

- Stortbesluit Bodembescherming. Staatsblad 1993.55.
- Uitvoeringsregeling Stortbesluit Bodembescherming Ministerie van VROM, 1993.
- Handleiding voor ontwerp en constructie van dichte eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen, 1991. Staring Centrum/Heidemij Advies. VROM Publicatiereeks Bodembescherming nr. 1991/4.
- Richtlijn dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen. VROM/Heidemij Advies. VROM-Publicatiereeks Bodembescherming nr. 1991/2.
- Studie onderafdichtingsconstructies voor afval- en reststofbergingen. Ministerie van VROM, Staring Centrum en Heidemij Advies BV. Staring Centrum rapportnr. 247.
- Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen. Ministerie van VROM, Heidemij Advies BV februari 1993; VROM Publicatiereeks bodembescherming nr. 1993/2.

3 UITWERKING TOT ONTWERPCRITERIA

In dit hoofdstuk zullen de in hoofdstuk 1 en 2 weergegeven overwegingen en uitgangspunten nader worden uitgewerkt en toegelicht. De hierbij primair van belang zijnde hydrologische begrippen kunnen als volgt worden weergegeven:

- **hoogste grondwaterstand:** het niveau van de grondwaterstand dat ten hoogste éénmaal per 10 jaar wordt bereikt of overschreden;
- **laagste grondwaterstand:** het niveau van de grondwaterstand dat ten hoogste éénmaal per jaar wordt onderschreden;
- **gemiddeld hoogste/laagste : grondwaterstand (GHG)/(GLG)** : gemiddelde waarde voor een periode van tenminste 8 opéénvolgende jaren van de drie hoogste/laagste grondwaterstanden per hydrologisch jaar;
- **percolaat (uittredend water):** vloeistof die uit de gestorte afvalstoffen komt of daarmee in contact is geweest; neerslagoverschot dat niet in de opslag of stort is geïnfiltreerd en tot afstroming komt boven of langs de opslag of stort of de isolerende voorziening;
- **afstromend water:** tijd die verloopt tussen het ontstaan van lekkage en de constatering daarvan;
- **signalerings-tijd:** stoffen die zich met dezelfde snelheid als het grondwater verplaatsen;
- **conservatieve stoffen:** langzame samendrukking van (afval-) stoffen onder uitdrijving van water.
- **consolidatie:**

Grondwaterstand

De onderzijde van de (afval-)stoffen (stortzool) dient boven het grondwater te liggen. Doel daarvan is te voorkomen dat bij falen van de isolatie de stoffen in het grondwater geraken en snel daarin worden verspreid, dan wel dat daardoor sterke uitloging optreedt. Met het toenemen van de afstand tot het grondwater neemt bovendien de diffusie-snelheid af. Aan dit uitgangspunt is de volgende nadere uitwerking gegeven (zie ook [6], Stortbesluit Bodembescherming).

3.1 Stoffen

Onder de stoffen wordt verstaan het gestorte of opgeslagen materiaal waarvoor de voorzieningen worden getroffen. Hieronder vallen derhalve niet eventuele opvangsystemen zoals bijvoorbeeld drains of bodemafdichtende voorzieningen. Deze kunnen daarom in principe ook onder de grondwaterstand liggen.

3.2 Niveau van de stoffen ten opzichte van GHG

De stoffen dienen - na zetting van de bodem - niet beneden 0,7 m boven de te verwachten gemiddeld hoogste grondwaterstand te kunnen geraken.

Indien direct onder de onderzijde van de stoffen (stortzool) een percolaat-transportvoorziening in de vorm van een laag grof grind met een dikte van ten minste 0,20 m aanwezig zal zijn, geldt een afstand van 0,50 m (Stortbesluit).

3.3 Zettingscriterium

Zoals bij 3.2 is aangegeven, dient bij het vaststellen van de hoogte van de onderzijde van de stoffen rekening gehouden te worden met zettingen van de ondergrond. Als criterium wordt aangehouden de zetting die optreedt gedurende de periode van berging (belasting) met een maximum van 10.000 dagen (= 30 jaar).

3.4 Maximale afstand stoffen tot GHG/GLG

Het niveau van de grondwaterstand dient te worden bepaald voor de gehele periode van bergen van stoffen.

De noodzaak om ook een eis te stellen aan een maximale afstand tussen onderkant van de stoffen en het grondwater is moeilijk op technische gronden aan te geven. De volgende overwegingen spelen daarbij een rol:

- a. signaleringstijd van het controlesysteem;
- b. uitvoerbaarheid van het calamiteitenplan;
- c. uitvoerbaarheid van controle.

ad.a Om na te gaan of bij een diepe grondwaterstand een belangrijke vergroting van de signaleringstijd ontstaat zijn berekeningen voor conservatieve stoffen uitgevoerd voor verschillende grondsoorten en in een nagenoeg verzadigde zone.

Daarbij is de tijd vastgesteld waarin het percolaat het grondwater bereikt bij voortdurende en onbeperkte percolaat-aanvoer. De resultaten worden in de volgende tabel gegeven.

Aangezien de percolaataanvoer in werkelijkheid beperkt is (maximaal circa 350 mm/jaar) en onregelmatig verloopt, geeft de tabel de verhoudingen tussen de grondsoorten onderling weer en niet de reële waarden voor de transportsnelheid.

Reistijd in dagen in relatie tot de bodemsamenstelling bij een grondwaterstand van 15 m diepte (conservatief nagenoeg verzadigd transport) bij onbeperkte percolaatafvoer.

grof zand	0,6	
fijn zand	13,3	
lemig fijn zand	33	
zandige leem	55	
lichte klei	238	
komklei	4968	(13,5 jaar)

Bij een reëel percolaataanbod (circa 350 mm/jaar) blijken de verschillen tussen de verblijftijden echter relatief gering:

grof zand:	aanvoer	0,1 mm/dag -	verblijftijd 60 jaar;
		1,5 mm/dag -	verblijftijd 10 jaar;
komklei:	aanvoer	0,1 mm/dag -	verblijftijd 75 jaar;
		1,5 mm/dag -	verblijftijd 14 jaar.

Het blijkt dat diepe grondwaterstanden ook bij slecht-doorlatende gronden slechts beperkte vergroting van de signaleringstijd geven, indien tenminste de signalering plaatsvindt aan de hand van conservatieve stoffen, en een reëel percolaataanbod wordt gehanteerd. Omdat bovendien bij leem- en kleigronden in Nederland nooit diepe grondwaterstanden voorkomen, is aan het bovenstaande geen motief te ontleen om een eis aan de maximale diepte van (afstand tot) de grondwaterstand te stellen.

- ad.b Indien volgens een calamiteitenplan bij het falen van de isolatie zowel de stoffen als de verontreinigde grond boven het grondwater zouden moeten worden verwijderd, ontstaan praktische en mogelijk ook financiële problemen bij grote grondwaterstandsdiepte. Diepe grondwaterstanden, bijvoorbeeld meer dan 5 m, moeten daarom in gebieden met een dik watervoerend pakket worden vermeden.
- ad.c Bij diepten van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) groter dan 5 m onder maaiveld komt o.a. om uitvoeringstechnische redenen een horizontaal controlesysteem niet in aanmerking (zie 4.3).
Voor verticale controlesystemen bestaat er in principe geen beperking aan de diepte.

Het voorgaande leidt tot de conclusie dat, indien men op grond van beheersbaarheid en/of controle een eis zou willen stellen aan de maximale diepte van de grondwaterstand, hiervoor een afstand van 4 tot 5 m beneden maaiveld het meest in aanmerking komt.

Percolaat

3.5 Onttrekkingssystemen voor percolaat

Indien bij opslag of storten percolaat ontstaat, dienen voorzieningen te worden getroffen om dit water op te vangen en af te voeren.

3.6 Controle

Controle op het functioneren alsmede het reinigen van het opvang- en afvoersysteem dient mogelijk te zijn.

3.7 Hydraulisch niveau percolaat

Omdat er naar gestreefd dient te worden dat de opgeslagen stoffen niet in het water komen te liggen zal het opvang- en afvoersysteem zodanig worden ontworpen en aangebracht dat het niveau van het percolaat niet reikt boven de onderzijde van de stoffen. Bij afvoer naar bijvoorbeeld een rioleringsysteem met een beperkte afvoercapaciteit en/of een te hoge hydraulische (druk-)lijn wordt mogelijk niet aan dit uitgangspunt voldaan.

3.8 Consolidatie-percolaat

Bij de opslag van natte stoffen zal door consolidatie water vrijkomen. Dit consolidatieproces kan niet worden voorkomen en de aanleg van een bovenafdichting kan het vrijkomen van dit percolaat niet tegengaan. Voor deze stoffen is daarom eveneens een opvang- en afvoersysteem vereist (zie hoofdstuk 2).

Omdat het aanbrengen van een drainagesysteem aan de onderzijde van natte stoffen in veel gevallen (bijvoorbeeld hoge volumieke massa, fijne textuur) moeilijk uitvoerbaar of niet effectief is, kan doorgaans volstaan worden met een opvangsysteem aan de bovenzijde. Deze overweging komt voort uit de volgende specifieke omstandigheden:

- a. Het aanbrengen van een afvoersysteem is in die situatie moeilijk uitvoerbaar. Indien vooraf het afvoersysteem wordt aangebracht gaat bij het storten van natte stoffen het afvoersysteem drijven of verschuiven (verankering moeilijk uitroesbaar). Naderhand aanbrengen geeft problemen door gebrek aan draagkracht.
- b. Na vullen van de opslag treedt consolidatie op waardoor waterafvoer naar boven toe optreedt. Daar dient het water via greppels e.d. te worden afgevoerd. Een afvoersysteem aan de onderzijde is in deze situatie derhalve minder noodzakelijk.

3.9 Voorziening bij eindafwerking

Direct voorafgaande aan het aanbrengen van een bovenafdichtingsvoorziening (zie [8], Richtlijn dichte eindafwerking) dient langs kopse zijden van elk stortvak een aanvullende percolaatdrain te worden aangebracht op een niveau van ca. 0,50 à 0,75 m boven de onderafdichting teneinde overstort van percolaat over de bodemafdichting in de kaden dan wel wateroverspanning in of nabij deze kaden te voorkomen.

Controlesystemen voor grondwaterkwaliteit

De werking van een controlesysteem berust op het signaleren van grondwaterverontreiniging door percolaat dat uit de opslag c.q. stortplaats afkomstig is. De werking van een dergelijk systeem is daarom in de eerste plaats afhankelijk van de heersende geohydrologische omstandigheden zoals:

- bodemopbouw (samenstelling en dikte van verschillende lagen);
- diepte grondwaterstand;
- stromingsrichting van het grondwater;

- natuurlijke samenstelling van het grondwater;
- kwel of wegzijging.

Daarnaast zijn factoren van belang die met de opslag of stort samenhangen, zoals:

- aard van de stoffen (o.a. droog of nat);
- samenstelling van het percolaat;
- grootte van de lekverliezen.

Deze factoren tezamen bepalen:

- a. welk controlesysteem het meest geschikt is;
- b. de duur van de signaleringstijd;
- c. op welke parameters moet worden geanalyseerd.

De controlesystemen kunnen worden onderscheiden in horizontale en verticale systemen (zie hoofdstuk 2, controle).

3.10 Horizontaal controlesysteem

Onder een horizontaal controlesysteem wordt verstaan een drainbuizensysteem onder de bodemafdichting van een opslag c.q. stortplaats. Het systeem dient voldoende diep onder G.L.G.-niveau te worden aangebracht, en zoveel mogelijk haaks op de horizontale grondwaterstromingsrichting.

3.11 Verticaal controlesysteem

Onder een verticaal controlesysteem wordt verstaan een systeem met grondwaterbemonsteringsfilters of bemalen putfilters benedenstrooms van of rondom de stoffenberging, alsmede één of meer referentiebuizen bovenstrooms. Afhankelijk van de bodemopbouw kunnen per waarnemingspunt meerdere bemonsteringsbuizen met filters (op verschillende niveaus) noodzakelijk zijn.

3.12 Waarnemingen

Hoewel met een controlesysteem in veel gevallen tevens de verspreiding van verontreiniging naar de omgeving kan worden voorkomen, dient een dergelijk systeem in de eerste plaats als controlesysteem te worden ontworpen. Zowel het horizontale als het verticale systeem dient zodanig te zijn samengesteld dat bemonstering per drain en per verticaal filter mogelijk is.

Er dient te worden gestreefd naar een grote technische levensduur. In zettingsgevoelige grond bij voorkeur flexibele buizen toepassen. In draagkrachtige gronden kunnen ook stijve buizen worden toegepast.

3.13 Combinatie van controlesystemen

In principe is een combinatie van een horizontaal controlesysteem en een verticaal systeem vereist. Het falen van een bodembeschermende voorziening kan het snelst worden geconstateerd met het horizontale systeem.

Overigens wordt opgemerkt dat bij een dik watervoerend pakket en een hoge dichtheid van het percolaat ook een horizontaal controlesysteem kan falen (dichtheidsstroming). Analyse wordt voor elk stort uitgevoerd door een modelberekening.

3.14 Bijzondere omstandigheden

Een meer uitgebreid verticaal controlesysteem komt in aanmerking indien een horizontaal systeem niet doelmatig wordt geacht op grond van geohydrologische omstandigheden of vanwege zeer beperkte omvang van de opslag/stortplaats. In die gevallen wordt het verticale systeem als bemalen put-systeem uitgevoerd. Modelberekening dient uit te wijzen of met dit

systeem op de betrokken locatie aan de IBC-eisen kan worden voldaan.

Afvoer van oppervlakkig afstromend water

Voor het storten en doorgaans ook de opslag van (uitsluitend droge) stoffen is aan de bovenzijde een isolerende voorziening noodzakelijk. Het doel van een dergelijke bovenafdichting is de vorming van percolaat in het opgeslagen c.q. gestorte materiaal te voorkomen. De dichte eindafwerking van een stort bestaat uit een combinatie-afdichting (folie en minerale laag) met daarop een drainagelaag, dik circa 0,30 m, en een leeflaag, dik circa 1 m. De afdichting wordt aangebracht op een steunlaag met zonodig een gasonttrekkingsvoorziening. De op deze eindafwerking vallende neerslag kan met name ter plaatse van taluds de oorzaak zijn van stabiliteitsverlies van grondlagen op de afdichting. In verband hiermee is een afvoersysteem voor oppervlakkig afstromend water noodzakelijk (zie: [8] Richtlijn dichte eindafwerking).

3.15 Bovenafdichting

De bovenafdichting dient waterdicht te zijn en in stand te worden gehouden gedurende de gehele periode waarin men de zorg draagt voor de opslag/stortplaats.

3.16 Handhaven stabiliteit

Over de afdekkende leeflaag afstromend water dient op gecontroleerde wijze te worden afgevoerd om afschuivingen van de taluds en erosie te voorkomen.

Hiertoe worden ook aan de structuur, de wijze van aanbrengen en afwerken, eventuele begreppeling alsmede aan de noodzakelijk grasvegetatie van de leeflaag eisen gesteld (zie "Handleiding" en "Richtlijn" dichte eindafwerking).

Afvoer van ingedrongen regenwater uit afdekklagen

Regenwater dat infiltreert in grondlagen boven de afdichting kan leiden tot instabiliteit van hellingen. Voor voldoende stabiliteit worden aan deze lagen nadere eisen gesteld.

Voor het gecontroleerd afvoeren van ingedrongen water zijn voorzieningen noodzakelijk (zie: Richtlijn dichte eindafwerking).

3.17 Geïnfiltreerd regenwater

Regenwater dat is ingedrongen in grondlagen boven de afdichtingsconstructie dient op gecontroleerde wijze te kunnen worden afgevoerd.

Stabiliteitsberekeningen dienen de stabiliteit bij de gekozen taludhellingen en materialen aan te tonen.

3.18 Drainerende voorziening

Direct op de afdichtende constructie dient een drainerende en beschermende zandlaag te worden aangebracht.

Ontwateringssystemen in de drainagelaag dienen met overcapaciteit te worden gedimensioneerd om gedeeltelijke drainuitval te kunnen compenseren en een zo gering mogelijke hydraulische gradiënt over de afdichtende constructie te garanderen.

3.19 Controle

Ontwateringssystemen voor bovenafdichtingen dienen reinigbaar te zijn en de mogelijkheid van bemonstering van het water te bieden. De afvoeren kunnen in principe worden aangesloten op afvoersystemen voor oppervlakkig afstromend water.

4 RICHTLIJNEN

De in hoofdstuk 3 vermelde ontwerpcriteria worden hierna uitgewerkt tot richtlijnen voor onderzoek naar de mogelijkheden voor en het ontwerp van de voorzieningen.

De volgorde van behandeling zal daarbij dezelfde zijn als in hoofdstuk 3. Op de ontwateringsvoorzieningen en gasonttrekkingssystemen behorende bij de dichte eindafwerking (3.15 t/m 3.19) wordt niet nader ingegaan. Deze zijn uitgebreid behandeld in de "Handleiding" en de "Richtlijn" voor dichte eindafwerking.

De hierna gegeven uitwerkingen fungeren als basisinformatie voor de onderafdichtingsvoorzieningen in het kader van de "Richtlijn onderafdichtingsconstructies".

4.1 Ligging van de stoffen ten opzichte van het grondwater

De ligging van de stoffen dient te worden vastgesteld op grond van de hoogte van de grondwaterstand in de toekomst met inachtnaam van de zettingen van de ondergrond als gevolg van de stortactiviteiten. In hoofdstuk 2 is vermeld dat bij grondwaterstanden dieper dan 5 m zonder tijdelijk verlagen van maaiveld geen horizontale drains kunnen worden aangebracht. Zoals hierna nog zal blijken dient een horizontaal controlesysteem tenminste 0,20 m onder de laagste grondwaterstand respectievelijk 0,40 m onder GLG te worden aangelegd.

In het Stortbesluit is de ligging van de stoffen aangegeven op minimaal 0,70 m dan wel 0,50 m boven de te verwachten GHG na zetting van de bodem (criterium 3.2 hiervoor). Indien de GHG niet of gebrekkig op de daar voorgeschreven wijze (conform de definitie) kan worden bepaald, zal bepaling en/of verificatie nodig zijn door andere meetgegevens, profielbeschrijvingen en geohydrologisch onderzoek. In dat geval zal ook het bepalen van de HG en de LG nuttig kunnen zijn. Bij het bepalen van de invloed van het aanbrengen van het stortterrein en mogelijke toekomstige veranderingen in een waterhuishouding op de GHG (en eventueel GLG) geldt hetzelfde. Om deze reden is het noodzakelijk dat in het geohydrologisch onderzoek de hoogste en laagste grondwaterstand alsmede de GHG en GLG worden bepaald. De wijze waarop dat kan worden uitgevoerd wordt in het volgende aangegeven.

Hoogste grondwaterstand

Voor het bepalen van de toekomstige hoogste grondwaterstand zijn de volgende punten van belang:

- a. niveau van de grondwaterstand in de huidige situatie;
- b. de invloed van storten/opslaan op de grondwaterstand.

ad a. De hoogte van de grondwaterstand dient op één van de volgende wijzen te worden bepaald.

1. GHG uit 8 hydrologische jaren

Volgens de definitie in het Stortbesluit wordt de GHG berekend als het gemiddelde van de hoogste 3 grondwaterstandswaarnemingen uit 8 opeenvolgende hydrologische jaren.

Dit veronderstelt de aanwezigheid van reeksen waarnemingen (volgens NEN 5766) over een periode van 8 jaren, hetgeen zelden het geval zal zijn. Indien wel een representatief te achten aantal waarnemingen uit waarnemingsbuizen in de buurt van de locatie aanwezig zijn, kan door correleren met de uit te voeren metingen gedurende één jaar (volgens Stortbesluit) en de GHG-bepaling volgens de onder punt 3 hierna vermelde methode mogelijk een betrouwbare vaststelling van de GHG worden bereikt.

2. HG

Ter plaatse worden twee-wekelijks grondwaterstandsmetingen verricht gedurende een periode van tenminste 1 jaar volgens NEN 5766 (zie Stortbesluit). Over hetzelfde jaar worden gegevens verzameld van zo veel mogelijk in de buurt aanwezige landbouwbuizen van het Archief van Grondwaterstanden van DGV/TNO alsmede van de daaraan voorafgaande periode van tenminste 5 jaar. Uit de laatstgenoemde reeks wordt de overschrijdingsfrequentie van de grondwaterstand voor 1x per 10 jaar bepaald voor de landbouwbuizen. Uit de vast te stellen correlatie met de profielkenmerken en de gemeten grondwaterstanden wordt voor de locatie de grondwaterstand bepaald die 1x per 10 jaar bereikt of overschreden wordt. Deze correlatie is door toevallige factoren in de situering van landbouwbuizen soms moeilijk vast te stellen.

3. GHG en HG uit profielbeschrijvingen

Uitgangspunt is de Grondwatertrappenkaart van Stiboka, aangevuld met ter plaatse uitgevoerde handboringen. Bij de profielbeschrijvingen dient door een bodemkundige de GHG en GLG te worden aangegeven.

Ter bepaling van de hoogste grondwaterstand dient de vastgestelde en geverifieerde GHG met 0,10 - 0,30 m verhoogd te worden, afhankelijk van de grondwatertrap (zie bijlage 2). Dit niveau wordt aangehouden als de hoogste grondwaterstand zoals gedefinieerd in hoofdstuk 3.

In het algemeen geldt dat correlatie alleen goed kan worden uitgevoerd als voldoende informatie over het geohydrologisch systeem ter plaatse aanwezig is of door (aanvullend) onderzoek wordt verzameld.

ad.b Bij het vaststellen van de invloed van storten en opslaan op de hoogte van de grondwaterstand kunnen twee situaties worden onderscheiden:

1. Door het storten/opslaan wordt het bestaande ontwaterings- en afwateringssysteem verstoord. In deze situatie zijn er twee in tegengestelde richting werkende effecten te onderscheiden:
 - a. verlagend effect door verminderde infiltratie;

- b. verhogend effect door verstoring van het ontwateringssysteem.

Op grond van een berekening dient de nieuwe grondwaterstand te worden aangegeven waarbij de wijziging in het ontwateringssysteem en de reductie in de infiltratie in rekening moet worden gebracht.

Berekeningsmethoden die hiervoor toepasbaar zijn, zijn o.a. Hooghoudt, Ernst, Krayenhoff v.d. Leur.

In kwelsituaties zal de grondwaterstand naderen tot de waarde van de diepe grondwaterpotentiaal.

2. Het storten/opslaan leidt niet tot beïnvloeding van het grondwaterregime. In deze situatie zal de grondwaterstand, indien het neerslagoverschot in belangrijke mate wordt opgevangen, overeenkomen met de huidige diepe grondwaterpotentiaal.

De aldus berekende invloed van de opslag/stortactiviteiten op de grondwaterstand mag bij het vaststellen van de GHG en hoogste grondwaterstand in rekening worden gebracht.

Laagste grondwaterstand

Het Stortbesluit geeft voor de GLG eenzelfde definitie als voor de GHG (8 jaar waarnemingen). Hetgeen hierboven voor GHG en HG is vermeld, geldt dan ook overeenkomstig voor GLG en LG.

De ligging van de laagste grondwaterstand kan op dezelfde wijze worden bepaald als hiervoor is vermeld met dien verstande dat met een onderschrijdingsfrequentie van 1x per jaar moet worden gerekend.

Voor het vaststellen van de laagste grondwaterstand uit de GLG dient als benadering de GLG verlaagd te worden met 0,20 m (bijlage 2).

Van grondwaterstanden dieper dan 5 m zijn veelal zeer weinig gegevens beschikbaar. De oorzaak is dat het waarnemingsnet voor deze grondwaterstanden veel extensiever is dan van de ondiepe landbouwbuizen. In die situatie zal slechts een ruwe schatting van de laagste grondwaterstand kunnen worden gegeven.

Zettingen

De grootte van de zettingen is afhankelijk van de samenstelling van de ondergrond en de grootte van de belasting. De zettingsgevoeligheid kan worden afgeleid uit boringen en/of sonderingen. Indien als gevolg van belasting en samenstelling van de ondergrond bij oriënterende beschouwing slechts geringe zettingen worden verwacht, kan de zettingsberekening worden uitgevoerd op grond van geschatte waarden van de samendrukkingsconstanten, dan wel uit de waarden uit de sondeergrafieken.

Bij belangrijke te verwachten zettingen kan niet volstaan worden met schattingen maar dienen de samendrukkingsconstanten bepaald te worden in het laboratorium.

De zettingsberekeningen dienen te worden uitgevoerd met behulp van de methode Koppejan of, voor veengronden, met de methode Fokkens.

Tabel 1: Onderzoek, ontwerp en rapportage in verband met ligging onderzijde stoffen

1. inventarisatie	2. Veld- en laboratoriumonderzoek	3. Rapportage
<ul style="list-style-type: none"> - bodemkaart - grondwatertrappenkaart - grondwaterkaart - geologische kaart - geomorfologische kaart - grondwaterstanden DGV/TNO - maalpeil/stuwpeil open water - volumegewicht te storten stoffen - eerder uitgevoerd onderzoek - <u>kenmerken grondsoorten:</u> <ul style="list-style-type: none"> ● organisch gehalte ● lutumgehalte ● fysische eigenschappen ● chemische eigenschappen 	<ul style="list-style-type: none"> <u>handboringen</u> - beschrijvingen bodemprofiel incl. GHG/GLG - schatting bodemeigenschappen: <ul style="list-style-type: none"> * K-factor; * samendrukking. <u>peilbuizen</u> - waterpassen, opnemen standen - bemonstering <u>mechanische boringen</u> - grondmonsters (ongeroerd) - sonderen <u>laboratoriumonderzoek</u> - vol. massa, watergehalte - samendrukkingsproef - triaxiaalproef (aantal, belastingstrappen) - textuur - grondwatersamenstelling - grondwater- en bodemverontreiniging 	<ul style="list-style-type: none"> - beschrijving situatie: <ul style="list-style-type: none"> * bodemopbouw; * grondwater; * waterhuishouding; * huidig, toekomst. - grondwaterstandswaarnemingen - verticale potentiaalverschillen - correlatie met TNO-buizen - aangeven hoogte grondwaterstand met ligging t.o.v. open water - prognose grondwaterstand na opslag/storten - aangeven onderzijde stoffen t.o.v. hoogste grondwaterstand - prognose diffusieremmend vermogen van de aanwezige bodem - prognose adsorptie-vermogen van de aanwezige bodem

Voor beoordeling van de toepasbare bodemafdichtingsconstructie dienen hieruit ook de te verwachten zettingsverschillen te worden aangegeven.

Ligging van de stoffen ten opzichte van het grondwater

Op grond van de beschouwingen, zoals hiervoor aangegeven wordt de toekomstige ligging van de onderzijde van de stoffen ten opzichte van het grondwater vastgesteld.

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de activiteiten die voor de motivering, dat aan de algemene voorwaarde ten aanzien van de ligging ten opzichte van het grondwater is voldaan, van belang zijn.

Het verdient aanbeveling om voor de aanleg van stortplaatsen gebruik te maken van hydrologische computerprogramma's. Hiermee is het mogelijk vooraf in te schatten hoe bijvoorbeeld GHG, GLG en de grondwaterstromingsrichting eruit te komen te zien na aanleg van de stortplaats. Bijlage 5 geeft enkele richtlijnen voor de te gebruiken programma's.

4.2 Afvoersystemen voor percolaat

Een afvoersysteem voor percolaat, dat voldoet aan de hydraulische eis dat dit water niet reikt tot in de stoffen, is op de volgende wijzen uit te voeren:

- door een watertransporterende laag (bijvoorbeeld zand) op een, onder een helling liggende, ondoorlatende bodemafdichting;
- met een buizendrainagesysteem in de watertransporterende laag.

Watertransporterende laag op een bodemafdichting onder afschot

Indien als eis wordt gesteld dat het percolaat niet mag reiken tot in de opgeslagen/gestorte stoffen heeft dit systeem beperkingen omdat een zandlaag, ook indien deze onder een helling ligt slechts een gering watertransporterend vermogen heeft. Toepassing is mogelijk in situaties waarin:

- weinig of geen percolaat ontstaat;
- de afstand tot aan de randen van de stort/opslag gering is.

Door een berekening zal moeten worden aangetoond dat aan de gestelde eis wordt voldaan. Een toepasbare berekeningsmethode wordt in paragraaf 4.4 gegeven. De dikte van de zandlaag is gesteld op 0,50 m.

Het uittredend percolaat moet worden opgevangen en afgevoerd bijvoorbeeld naar een rioleringsstelsel of direct naar een zuiveringsinstallatie.

Controle op het functioneren van de drainerende laag, anders dan constateren dat het systeem water afvoert, is moeilijk omdat het plaatsen van peilfilters in de watertransporterende laag vrijwel nooit mogelijk zal zijn. Wel is het mogelijk op de laag een fundering (bijvoorbeeld betonnen plaat) aan te brengen waarop de onderzijde van een peilfilter kan rusten. Door een dichte buis op het filter met het stijgen van de afvalhoogte mee omhoog te verlengen, kan een controle op eventuele verzadiging van de afvalstoffen worden uitgevoerd. Gedurende het stortbedrijf is een dergelijke buis evenwel kwetsbaar.

Drainagesysteem voor opvang percolaat

Van de ontwerpaspecten van drainagesystemen voor de opvang van percolaat is een overzicht gegeven in nr. 35 van de reeks Bodembescherming (Opvang en behandeling van percolatiewater van afvalstortterreinen). De daarin vermelde ervaring is aangevuld en uitgewerkt in bijlage 4.

De thans bekende inzichten en ervaring leiden tot de richtlijnen zoals deze hieronder worden aangegeven:

a. Algemene kenschetsing

Op de geëgaliseerde ondergrond is een onderafdichting gelegd, veelal bestaande uit een combinatie van folie en mineraal afdichtingsmateriaal.

Op de basisafdichting is een zandbed, dik 0,5 m, aangebracht als draineer- en beschermlaag. Naar keuze kan deze laag ook worden uitgevoerd in minimaal 0,30 m zand met daarop 0,20 m grof grind. Ter opsluiting van deze grindlaag is een resistente wapeningsmat (grid) mogelijk met maaswijdte van minimaal 5 mm (geen fijn filter toepassen!).

In dit zandbed is een netwerk van (hdpe-)drainbuizen aangebracht, bestaande uit onderling evenwijdige "zuigdrains", die aan weerszijden uitmonden in langs de rand van een stortvak gelegen verzameldrains (figuur 1). Onder de drains dient een laagje zand aanwezig te zijn ter inbedding en oplegging (belastingoverdracht).

Naast en boven de zuigdrains wordt een grindaanvulling aangebracht zodat een grindkoffer ontstaat van voldoende hoogte.

b. Bodemafdichting

Vanuit ontwerpaspecten van het percolaatdrainagesysteem gelden de volgende aanwijzingen voor de onderafdichtingsconstructie.

- aan te leggen onder een helling van minimaal 0,25, doch bij voorkeur ca. 0,5% evenwijdig met de toekomstige zuigdrains, exclusief eventuele compensatie voor zettingsverschillen;
- de bodemafdichting wordt tegen de omringende kade naar boven doorgetrokken over een (vloeistofkerende) hoogte van minimaal 1 meter, bij voorkeur echter 1,5 meter, exclusief het afschot in de bodemafdichting (bij 0,25% wordt de hoogte van de "benedenstroomse" vloeistofkering bij een stortbreedte van 300 m aldus 1,75 respectievelijk 2,25 m);
- ter plaatse van de benedenstroomse verzamelrain (die binnen de kade wordt gesitueerd) kan de onderafdichting worden verdiept, teneinde het nodige hoogteverschil tussen zuig- en verzamelrain te kunnen aanbrengen. "Bakprofielen" en hoekverdraaiingen in een afdichtingsfolie zijn echter kwetsbare elementen. In de laatste jaren is daarom een doorvoerconstructie van de afvoerende leiding door de opstaande foliewand ontwikkeld die het op betrouwbare wijze volledig droog kunnen zetten van de bodemafdichting garandeert (zie figuur 2 en 3);

- afvoeren van percolaat kan eveneens plaatsvinden door pompen uit een binnen het stortvak te plaatsen pompput.
Alternatief kan een HDPE-buis diam. minimaal 300 mm op de binnenflank van de stortkade worden gelegd van waaruit gepompt zou kunnen worden (zie ook f hierna).

Alternatief kan aanvullend op het lengteverhang van 0,25 - 0,5% ook nog een "dakprofiel" in de breedterichting van een stortvak worden overwogen (afwatering in dwarsrichting naar percolaatdrains). Als bezwaar kan worden aangemerkt dat het opvangen van deze profilering langs kaden tot hoge faalkans in de folieafdichting leidt gezien de veelheid aan moeilijk uitvoerbare extra lasverbindingen die daardoor ontstaan.

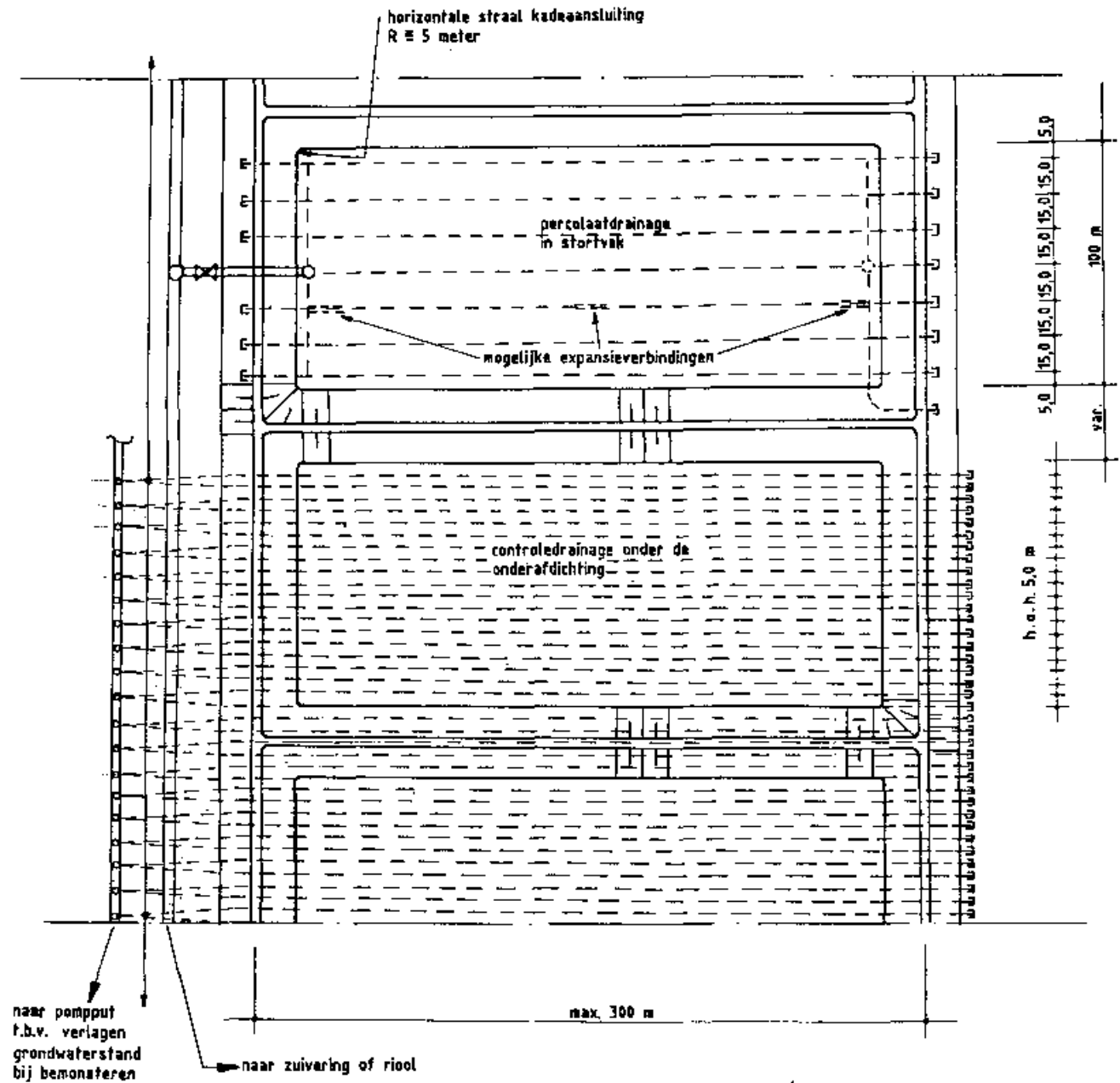
In het algemeen wordt een goed folie-legplan gekenmerkt door een zo gering mogelijk aantal lassen, die bovendien op optimale wijze kunnen worden uitgevoerd.

c. Zandbed

- dikte nergens minder dan 0,50 m;
- alternatief 1: minimaal 0,30 m zand en 0,20 m grind;
- alternatief 2: een grindbed dik 0,30 m op 0,05 m zand en een resistent non-woven geotextiel;
- het zand moet voldoen aan de kwalificatie "draineerzand" volgens de Eisen Rijkswaterstaat met als aanvullende eis: geen korrel diameter groter dan 5 mm (ofwel: al het zand moet een zeef 5 mm passeren). Ter beperking van het risico voor de folie kan hier ook 3 mm worden toegepast.
Binnen de gestelde grenzen geldt: hoe grover hoe beter. Nadere aanwijzingen zijn opgenomen in bijlage 4.

d. Zuigdrains

- gesleufde of geperforeerde buis, bestaande uit HD polyetheen (HDPE) of polypropreen (PP) (klasse B of C);
- inwendige diameter minimaal 70 mm; voor camera-inspectie is momenteel een minimale inwendige diameter vereist van 130 mm, waarbij rekening dient te zijn gehouden met mogelijk iets ovaal worden als gevolg van bovenbelasting;
- perforaties minimaal 200 stuks per meter, regelmatig over de buisomtrek verdeeld in minimaal 3 overlappende rijen; perforatiebreedte minimaal 4 mm; maximaal gelijk aan D85, waarbij D85 = zeefmaat waardoor 85% van het omhullingsgrind passeert (zie ook bijlage 6, par. 3);
- de voorkeur gaat uit naar overdwers gesleufde hdpe-buis met sleuven over 2/3 van de omtrek, breed 5 à 6 mm. De sleuven dienen braamvrij en glad te zijn om extra aanhechtingsvlakken voor (microbiologische) afzettingen te voorkomen. Open oppervlak circa 7 à 8% van het inwendig buisoppervlak;
- drainafstand maximaal circa 15 m;
- maximale lengte drains 300 m bij afstroming naar één zijde; 600 m bij afstroming naar twee zijden; tweezijdig reinigbaar; verhang (=helling onderafdichting) 0,25 à 0,5%;
- geen knikken of scherpe bochten in de drainreeksen.



Principes stortvakken, percolaatdrainagesysteem en controledrainage

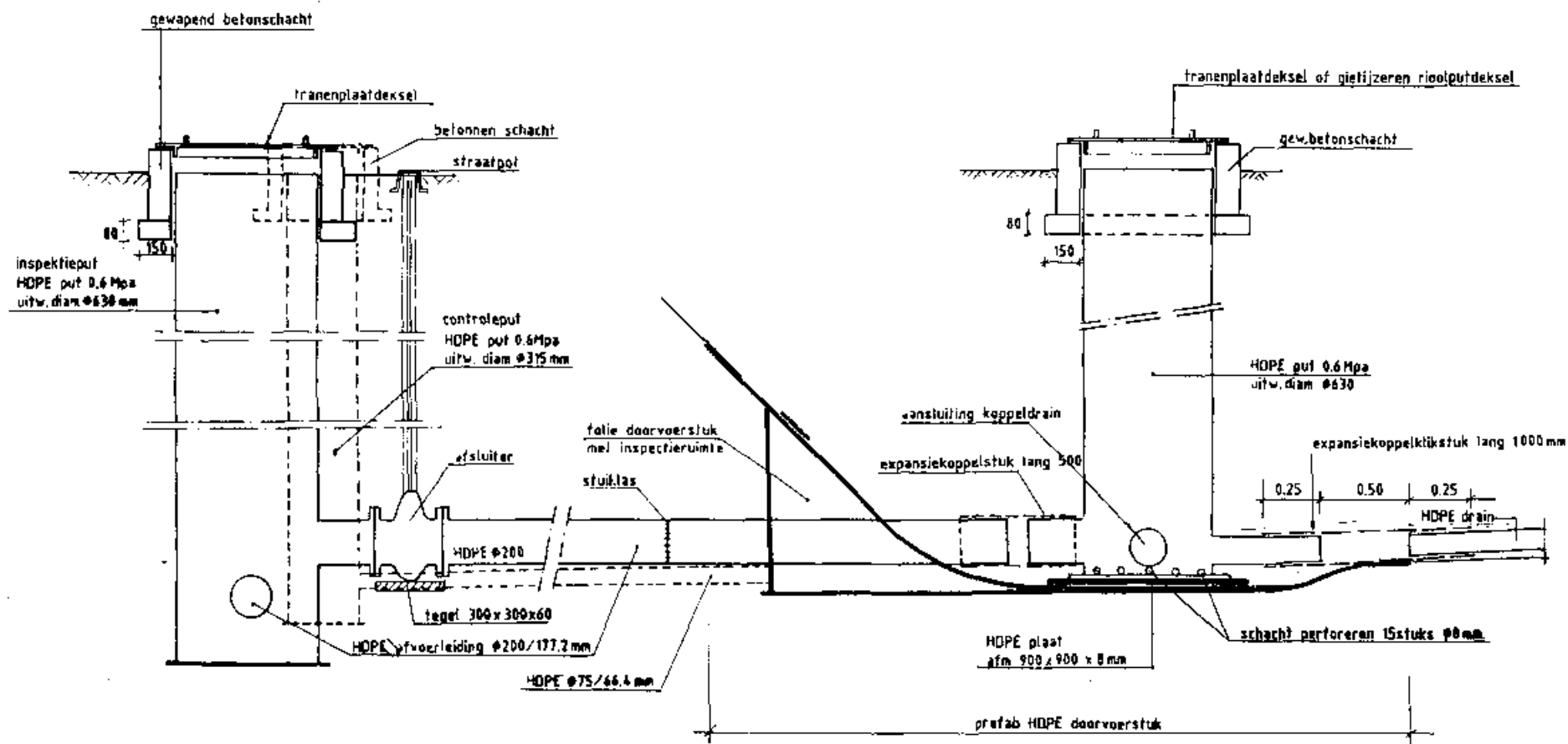
- controledrains haaks op grondwaterstromingsrichting; h.o.h. 5,00 m
- 2 à 3 controledrains op één bemonsteringsschacht
- buitenste controledrains ruim buiten vlak van de onderafdeling

Figuur 1: Situatie stortvakken met principe van systemen

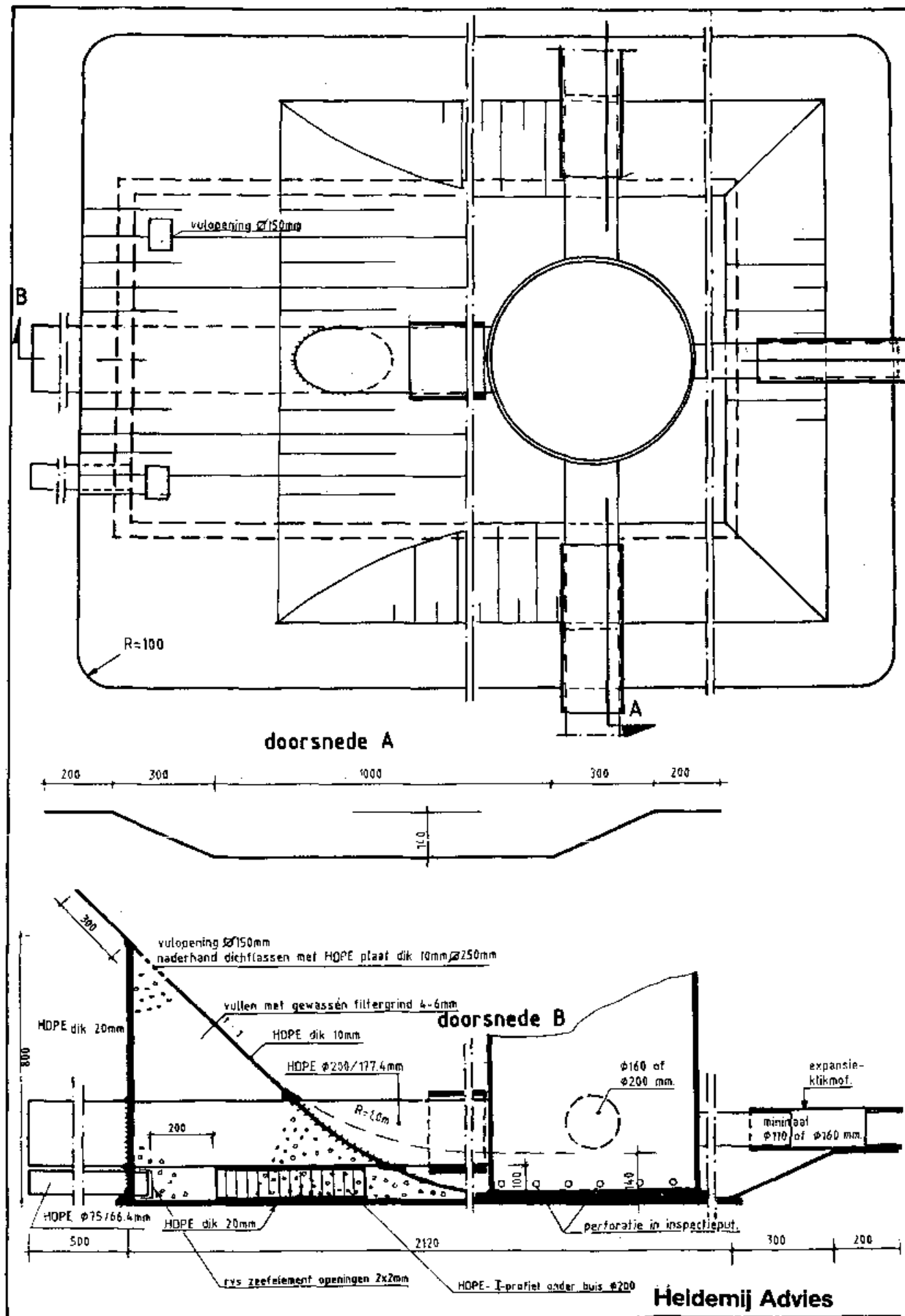
Voor het uitvoeren van berekeningen ter bepaling van de buisklasse/wanddikten van hdpe-buizen ingesleufde uitvoering zijn in bijlage 4 en met name bijlage 6 nadere aanwijzingen opgenomen.

e. **Grind in grindkoffer**

- minimale dikte grindlaag, alzijdig, behalve onderkant (folie) 0,30 m. De voorkeur gaat uit naar het omhoog doortrekken van de grindkoffer tot ruim boven het aan te brengen zandbed;
- bij een perforatie van 4 mm een nominale gradering 4/32; grind conform Eisen Rijkswaterstaat geldend voor "Grind voor bitumineuze mengsels" (RWS 1978, § 3.8).
Bij gesleufde buis grind 8/32 of 16/32 toepassen.
- grindomhulling en zandbed dienen in principe onderling te voldoen aan de filterregels van Terzaghi. Dit kan, afhankelijk van de exacte korrelopbouw van zandbed en grindomhulling, tot consequentie hebben dat een grindtussenlaag van intermediaire korrelsamenstelling dient te worden aangebracht (zie bijlage 4). Bij aanzienlijke kans op afzettingen en dichtslibben van de grindkoffer kan grover grind dan volgens de filterregels worden overwogen, dan wel de intermediaire laag weggelaten worden (zie bijlage 4);
- ter bescherming van de folie dient, voorafgaand aan het aanbrengen van het zandbed en de daarin te plaatsen grindkoffers, terplaatse van de grindkoffer een mediumbestendig beschermend non-woven doek met een hoge doorponsweerstand te worden aangebracht met een minimale breedte van 1,50 m in een gewichtsklasse van minimaal 400 gram/m². De breedte van het doek kan meer algemeen worden aangegeven als breedte onderzijde grindkoffer, verhoogd met minimaal 2 x 0,5 m (zie ook figuur 4 en bijlage 6).

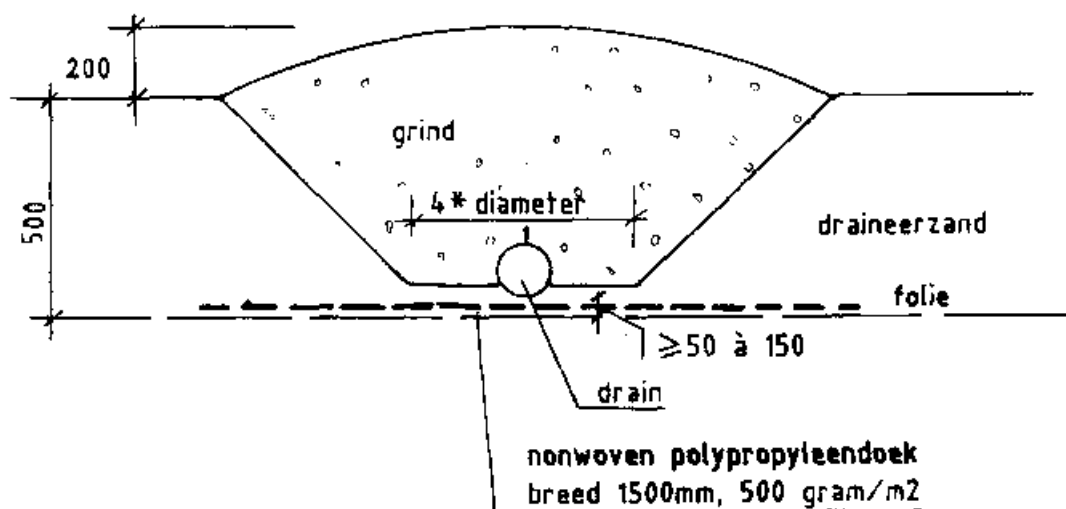


Figuur 2: Voorbeeld van een HDPE-afvoersysteem voor percolaat



d.d. 11-01-1

Figuur 3: Gecontroleerd prefab HDPE kade-doorvoerstuk



Figuur 4: Voorbeeld van een grindkoffer

f. Verzameldrains (koppeldrains)

- te situeren binnen de kade;
 - zo weinig mogelijk doorgangen door de (opstaande) bodemafdichting; indien het stort door tussenkaden in hydrologisch gescheiden vakken wordt verdeeld, niet meer dan één kadedoorvoering per vak. In het algemeen kan gesteld worden dat dergelijke doorvoeren geen zwakke plekken in de constructie mogen vormen.
- Het prefab uit hdpe-plaat dik 10 en 20 mm samenstellen van een controleerbaar doorvoerstuk heeft de voorkeur (zie figuur 3).
- leiding toegankelijk voor controle en schoonmaken via inspectieputten en/of doorspuitopening. Tussen twee inspectieputten dient het leidinggedeelte recht te zijn;
 - hydraulische capaciteit te berekenen op afvoer van minimaal 4 mm per etmaal (ca. 0,5 l/s ha) en 25 á 50% ineffectieve doorsnede in verband met verontreinigingen (zie ook bijlage 4);
 - verdere ontwerp-details zoals gebruikelijk voor rioleringen.
 - de voorkeur gaat uit naar koppeldrains zowel boven als benedenstrooms van de zuigdrains;
 - alternatieve afvoer: geen doorvoerstukken, maar door pompputten per stortvak over de kaden naar afvoerleiding of afvoerpersleiding.

g. **Aansluitingen zuigdrains-verzamelleidingen/drains**

- bovenzijde verzamelleiding even hoog als of lager dan onderzijde zuigdrain (gootprofiel in bodemafdichting); dit is te vermijden door de alternatieve oplossing met prefab-doorvoerstuk (figuur 2 en 3);
- aansluiting hetzij via kunststof inspectieputten, minimale diameter 600 mm, hetzij "blinde" aansluitingen (T- en kruisstukken) met voorziening voor doorspuiten van de zuigdrains;
- doorspuiten van de zuigdrains dient te allen tijde mogelijk te zijn; het ontwerp van T- en kruisstukken dient het heen en terug geleiden van doorspuitapparatuur te garanderen;
- voorzieningen tegen toetreden van lucht in de zuigdrains of in de verzamel-/afvoerleiding;
- koppelingen in buisreeksen uit buisidentiek materiaal. Bij hdpe-drains buislengte minimaal 10 meter. Verbindingen door hdpe-elektrolaskoppelingen (lang model) of klik-koppelstukken lang 0,50 meter uit bij de drainbuisdiameter passende (dichte) buisstukken;
- koppeling zuigdrains aan T-stuk/kruisstuk: toepassen van extra lang klikbuisstuk te overwegen (lengte 1 m, overschuiflengte 2 x 0,25 m) als expansieverbinding (zie figuur 2). Ook toepassing mogelijk in een buisreeks zuigdrains in het midden van de stort.

h. **Afvoerleidingen, bassins etc. buiten de stort (buiten de kade)**

- beveiligd tegen overstroming en lekkage van percolaat naar de ondergrond (puthoogte gelijk aan vloeistofkerende hoogte kade);
- afvoerleidingen met bij tioleringen gebruikelijk afschot. In inspectieputten zandvang toepassen (zie figuur 2).

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de activiteiten voor het ontwerp van een percolaatopvangsysteem.

Tabel 2: Ontwerp, aanleg en beheer van een afvoersysteem voor percolaat

1. inventarisatie	2. berekeningen/rapportage	3. uitvoeringsgerede plannen	4. exploitatie, nazorg
<ul style="list-style-type: none"> - samenstelling stoffen <ul style="list-style-type: none"> * chemisch * watergehalte * uitloging - stortperiode - inrichtingsplan - stortplan - fasering 	<ul style="list-style-type: none"> - motivering: <ul style="list-style-type: none"> * systeemkeuze * materiaalkeuze (mech./chemisch) * drainafstand * draindiameter c.q. wanddikte * drainopeningen * zand/grindbed - beschrijving opvangsysteem <ul style="list-style-type: none"> * putten (aantal-constructies) * doorspuitinrichtingen * drainniveau * compartimentering * beheer en onderhoud - frequentie van doorspuiten - controle op werking - afvoerleidingen - pompinrichtingen 	<ul style="list-style-type: none"> - Voorschriften voor o.a.: <ul style="list-style-type: none"> * beschermingsdoek * belastingklasse buizen * drainbuisalternatieven * koppelingen in buisreeksen * drainzand * grindafmetingen * prefab folie doorvoerstuk * doorspuitvoorzieningen - Controles van o.a.: <ul style="list-style-type: none"> * berekeningen * certificaten * zevingen * laboratoriumonderzoek * keuring monsters 	<ul style="list-style-type: none"> - instructies voor: <ul style="list-style-type: none"> * inspecties * doorspuiten drains * reiniging afvoerleidingen * periodiek onderhoud diverse onderdelen van systeem

4.3 Controlesysteem voor de grondwaterkwaliteit

Het doel van controlesystemen voor de grondwaterkwaliteit is het vaststellen van de effectiviteit van bodembeschermende voorzieningen. Deze controle kan plaatsvinden onder de opslag/stortplaats of daarnaast. Voor controle onder de berging komt een horizontaal controlesysteem in aanmerking, voor controle naast de berging verticale systemen.

4.3.1 Horizontaal controlesysteem

- De ligging van het horizontale controledrainagesysteem (bovenkant buis) dient tenminste 0,40 m onder de GLG te zijn (tenzij hiervan moet worden afgeweken op geohydrologische overwegingen). Dit komt bij benadering overeen met 0,20 m onder de LG. Hiermee wordt bereikt dat ook bij lage grondwaterstanden nog voldoende controlemogelijkheid resteert. Bij machinaal aanleggen van de drains kan een maximale diepte van 4 à 5 m bereikt worden. Bij grotere diepte van de laagste grondwaterstand dient daarom een ander controlesysteem te worden ingericht, tenzij voor het aanleggen het maaiveld tijdelijk wordt verlaagd. Omdat een dergelijk systeem dient te liggen onder het grondwaterniveau zal de aanleg plaats moeten vinden met een draineermachine (nat aanbrengen) of met graafmachines waarbij veelal bronbemaling nodig zal zijn. Bij afwijkende bodemafdichtingsconstructies gebaseerd op (kunstmatige) kwel over een onder GLG aangebrachte of aanwezige zeer dichte grondlaag, zal een horizontaal controlesysteem onder deze diepe laag voor waarnemingen niet nodig zijn (mogelijk wel voor grondwaterstandsverlaging). Het horizontaal drainagesysteem wordt vlak of met gering afschot (0,1%) aangebracht.
- De drainafstand van een horizontaal controlesysteem dient te liggen op 5 m op basis van signaleringstijd van 5 jaar (zie bijlage 1) en met name verdunning van concentraties in het grondwater van niet-adsorberende (=conservatieve) stoffen (zie bijlage 3).
- Indien bij een drainafstand van 5 m de signaleringstijd langer is dan 10 jaar of de verdunning te groot is om nog waarnemingen te kunnen doen kan het treffen van bijzondere isolerende maatregelen nodig zijn. In combinatie daarmee dient ook het verticale controlesysteem te worden uitgebreid.
- Monstername en doorspuiten van elke controledrain moet vanaf twee zijden mogelijk zijn bij drainlengten tussen 300 m en 600 m. Bij drainlengten korter dan 300 m is doorspuiten en monstername vanaf één zijde zonodig toelaatbaar (bijzondere situaties) (zie figuur 1 en 5). Drainlengten groter dan 600 m zijn niet toegestaan omdat doorspuiten dan niet meer mogelijk is.
- Een horizontaal controlesysteem dient een zo doelmatig mogelijk controlemiddel te zijn. Dit betekent dat de stroming van water naar de drains ook inderdaad mogelijk moet zijn.

Aan de volgende voorwaarden moet dan worden voldaan:

- geen slecht-doorlatende lagen tussen bodemafdichting en controle-drains; in twijfelgevallen vullen van de drainsleuf met goed doorlatend drainzand, waarbij toestromen naar de drainsleuf dient te zijn gewaarborgd;
 - geen lagere grondwaterpotentiaal op grotere diepte dan het niveau van de controledrains;
 - voldoende mogelijkheid tot luchttoetreding en luchtuitreden onder de bodemafdichting;
 - geen grote dichtheidsverschillen tussen het oorspronkelijke grondwater en het percolaat.
- Om een goede werking te verzekeren dienen de controledrains voorzien te zijn van een omhullingsmateriaal waarvan de samenstelling afhankelijk is van de bodemeigenschappen.
Voor details over de keuze van drainage-omhullingsmaterialen wordt verwezen naar "Voorlopige aanbevelingen voor de keuze van drainage-omhullingsmaterialen" door T.E.J. van Zeyts, Cultuurtechnisch Tijdschrift 1986 jaargang 25 nr. 4. Een beperkt overzicht op basis van de meest gebruikte materialen is gepubliceerd door KOMO in augustus 1988 (KOMO thema 4). Een overzicht daaruit van de keuzemogelijkheden wordt gegeven in tabel 3.
 - Bij bemonstering van het controledrainagesysteem zal verdunning met grondwater optreden. Voor milieuvreemde stoffen geldt dat, indien deze verdunning zo groot is dat de concentratie van de betreffende stof lager wordt dan de detectiegrens, de lekkage niet meer kan worden geconstateerd. Op grond van de gemiddelde samenstelling van het percolaat van huisvuilstortplaatsen kan de verwachting worden uitgesproken dat verdunning met een factor groter dan 100 moet worden vermeden. Bij andere stort/opslagplaatsen kan mogelijk een grotere verdunning worden toegestaan. In bijlage 3 wordt dit aspect nader uitgewerkt.
Het controle- en bemonsteringssysteem moet zodanig worden uitgevoerd dat de toelaatbare verdunningsfactor niet wordt overschreden.
 - Bij een horizontaal controlesysteem dient, als een referentie, een uitgebreide analyse te worden verricht van watermonsters uit de drains voordat de opslag/stort in gebruik is genomen.
Deze analyses moeten worden uitgevoerd voor alle stoffen, die bij vergelijkbare latere controles als signaalparameters kunnen worden gebruikt (zie [7], Uitvoeringsregeling Stortbesluit, art.12). Ingevolge het Stortbesluit [6] dient deze bemonstering elke 2 jaar te worden herhaald.
 - Een á drie keer per jaar (afhankelijk van grondwaterstromingsnelheid, zie Uitvoeringsregeling), dient een beperkte analyse te worden uitgevoerd, waarbij de monsters van in principe iedere drain afzonderlijk moeten worden geanalyseerd op:
 - zuurgraad (pH);
 - elektrische geleidbaarheid;
 - chemisch zuurstofverbruik;
 - minerale olie;

- VOX;
- chloride;
- Kjeldahl-N of NH₃.

Bij deze controle worden ook de percolaatsamenstelling en verticale controlevoorzieningen geanalyseerd. Daarnaast dient één maal per jaar een gaschromatografisch-massaspectrometrisch onderzoek te worden uitgevoerd (zie Uitvoeringsregeling Stortbesluit, art. 11). Wanneer er aanwijzingen zijn voor een lekkage in de onderafdichting volgt een "nader onderzoek" met een meer gedetailleerde analyse.

Tabel 3 (uit KOMO, thema 4, 1988): Toepassingsmogelijkheden van de meest gebruikte omhullingsmaterialen

omhullingsmateriaal	grondsoort ¹⁾							
	klei en zavel		veen en klei-op-veen		zand en leem			
	tot draandiepte overal meer dan 15% lutum		overige situaties		overal meer dan 17% leem		tot 17% leem	
	ja	nee	ja	nee	ja	ja	ja	overig zand
kokos	5)	ja	-	-	ja	ja	-	ja
turfkokos/turf	5)	ja ²⁾	-	-	ja ²⁾	ja ²⁾	-	ja ²⁾
polypropyleen-450	5)	ja ²⁾	ja ²⁾	ja ²⁾	ja ²⁾	ja ²⁾	ja ²⁾	ja ²⁾
polypropyleen-700	5)	ja	ja ⁴⁾	ja ⁴⁾	ja	ja	ja ⁴⁾	ja
polystyreenkorrels	5)	ja	ja ⁴⁾	ja ⁴⁾	ja	ja	-	ja
glasvlies/Cerex/Typar ⁶⁾	5)	-	ja ^{2,3)}	-	-	-	ja ^{2,3)}	ja ^{2,3)}

- 1) In gelaagde profielen uitgaan van het lichtste materiaal, indien er geen "ja" staat vermeld, betekent dit niet altijd dat toepassing wordt afgeraden, maar wel dat betere alternatieven voorhanden zijn
- 2) Niet toepassen bij gevaar voor ijzerafzettingen of indien de drains voor infiltratie worden gebruikt
- 3) Niet toepassen indien er een veenlaag in het profiel voorkomt
- 4) In zeer fijnzandige ondergronden ($M_{50} < 120 \mu\text{m}$) alleen toepassen, indien tevens gevaar bestaat voor ijzerafzettingen
- 5) Geen omhulling nodig
- 6) Nog niet leverbaar met KOMO-keurmerk

Voor nadere bijzonderheden wordt verwezen naar bijlage 3, de Uitvoeringsregeling en het Stortbesluit. De resultaten van bemonstering en analyses dienen aan het Bevoegd Gezag te worden gerapporteerd.

- De controle is alleen effectief als reeds voorafgaand aan het storten van afval referentiewaarnemingen hebben plaatsgevonden. Op basis van de modelberekeningen van de verspreiding van infiltrerende stoffen in de tijd kan door het Bevoegd Gezag een andere frequentie en aard van bemonstering worden bepaald.

4.3.2 Verticale controlesystemen

Algemeen

Voor de inrichting van een verticaal controlesysteem is het, in tegenstelling tot een horizontaal controlesysteem onder een stort, niet goed mogelijk algemeen geldende voorschriften op te stellen.

De inrichting van een verticaal controlesysteem is namelijk in veel sterkere mate afhankelijk van het stromingsbeeld van het grondwater dat ontstaat nadat een stort is aangelegd, de dikte van het watervoerend pakket en de nabijheid van sloten. Voor de inrichting van een verticaal controlesysteem verdient het aanbeveling gebruik te maken van rekenmodellen om de toekomstige stromingsrichting en -snelheid te bepalen en vervolgens berekeningen uit te voeren om een optimale afweging te krijgen tussen aantal filters en afstand van de filters tot de stort (detectiesnelheid). Indien een passief verticaal systeem op basis van (niet-bemalen) putfilters onvoldoende effectief is, kan de berekening worden uitgevoerd op basis van een actief verticaal controlesysteem (bemalen putfilters).

Niet-bemalen putfilters

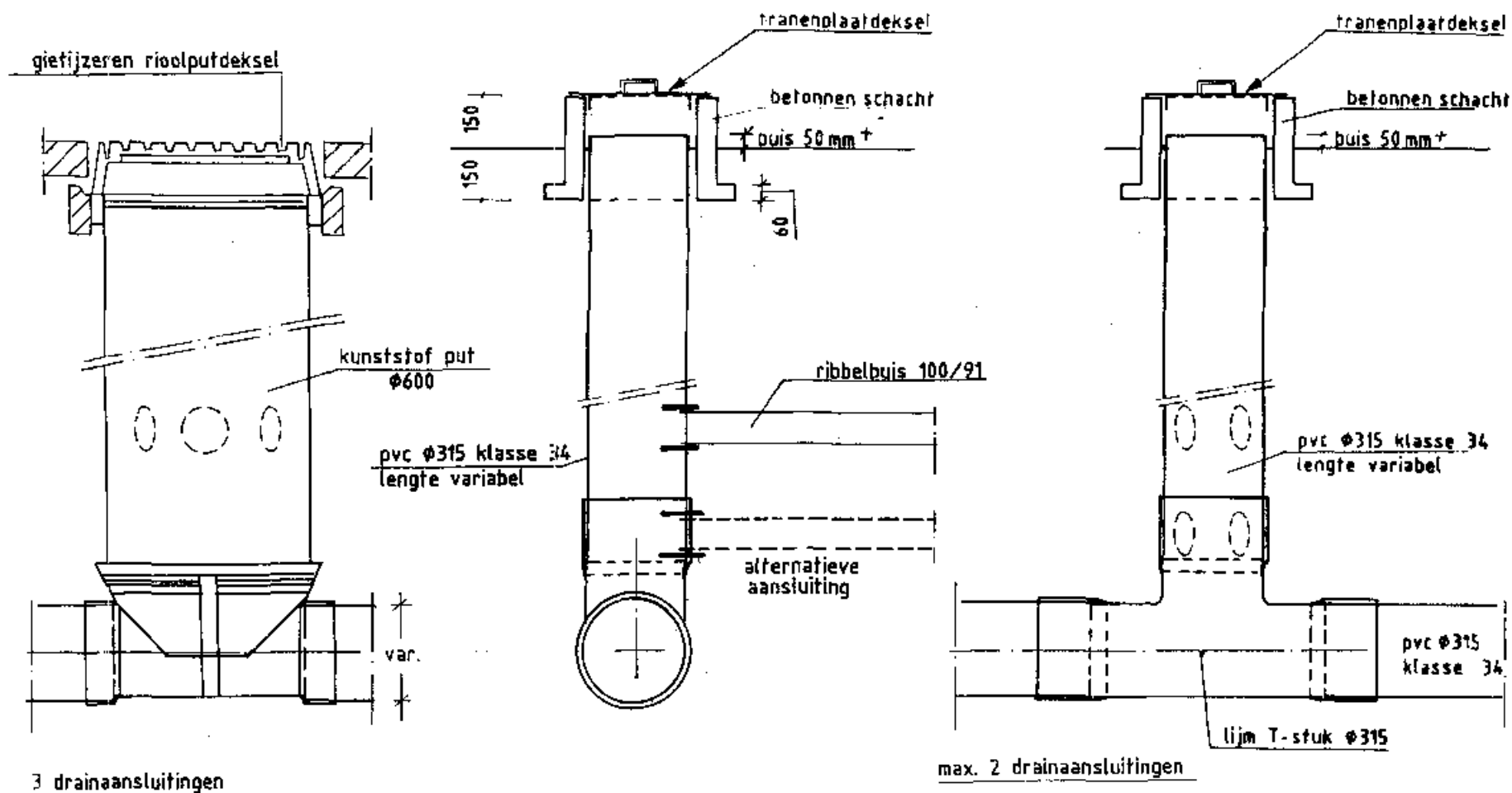
De signaleringstijd van een controlesysteem voor de grondwaterkwaliteit buiten de opslag/stortplaats is afhankelijk van de grootte van de opslag/stortplaats, de diepte van de grondwaterstand en de snelheid van de natuurlijke grondwaterstroming dan wel kunstmatig opgewekte (bij bemalen putfilters) stroomsnelheid van het grondwater.

De diepte van de grondwaterstand speelt slechts een ondergeschikte rol bij deze signaleringstijd (zie 3.4). Met behulp van gegevens uit een geohydrologisch onderzoek kan de signaleringstijd worden berekend. Ook de invloed van verdunning en daarmee samenhangend de waarnemingsafstand waarbinnen het systeem functioneert, kunnen modelmatig worden bepaald. Een dergelijke berekening moet aantonen dat de te verwachten signaleringstijd voor conservatieve stoffen niet groter zal zijn dan 15 jaar. Een globale indicatie kan uit het volgende worden verkregen.

De verplaatsingssnelheid (v) van een conservatieve stof in een laag met een doorlaatfactor k (m/d), een gradiënt i (m/m) en een poriënvolume n (%) bedraagt:

$$v = \frac{k \cdot i}{n}$$

Natuurlijk horizontale gradiënten liggen in Nederland in de orde van 0,001 à 0,002. De verplaatsing zal vooral optreden in de laag met de grootste doorlaatfactor. In de volgende tabel wordt de afstand van de stroomopwaartse gelegen rand tot aan het stroomafwaarts gelegen controlesysteem aangegeven met A . In deze tabel wordt het verband aangegeven tussen de signaleringstijd in jaren en deze afstand A bij een poriënvolume van 30% en een aantal verschillende waarden van ki , waarbij voor k een aantal waarden variërend van 0,5 tot 50 m/dag is gehanteerd.



Figuur 5: Horizontaal controlesysteem; voorbeeld van oplossingen voor bemonsterings- en onderhoudsmogelijkheid van een controledrain

Signaleringstijd in jaren bij $n = 0,30$

A in m	k. i. =				
	0,001	0,002	0,003	0,01	0,05
10	8	4	3	0,8	0,16
25	20	10	7	2	0,4
50	41	20	14	4,1	0,8
100	82	41	27	8,2	1,6
150	123	62	41	12,3	2,5
200	164	82	55	16,4	3,3

Geconcludeerd kan worden, dat in Nederlandse omstandigheden met putfilters zonder bemaling alleen bij geringe grootte van de opslag/stortplaats de signaleringstijd geringer zal zijn dan 15 jaar.

In het algemeen zal niet aan de eis van detectie binnen 15 jaar kunnen worden voldaan; alleen in gebieden met een k-waarde groter dan 20 m/dag zal het verticale systeem kunnen voldoen aan deze eis.

In de hiervoor gegeven beschouwing is niet de invloed van verdunning van de verontreiniging en daarmee de detecteerbaarheid opgenomen. Voor verdunning is een afzonderlijke benadering noodzakelijk (bijlage 3).

Op zichzelf hoeft dit niet te betekenen dat een locatie, die niet aan de detectie-eis voldoet, als ongeschikt zou moeten worden aangemerkt. Indien wel een doelmatig horizontaal systeem mogelijk is, kan een wat grotere vertraging in de waarnemingen van het verticale systeem aanvaardbaar zijn.

- Boringen, met daarin filters op verschillende diepten, dienen stroomafwaarts van de opslag/stortplaats te worden geplaatst. Indien de stromingsrichting niet bekend is, of afstroming naar verschillende zijden plaatsvindt, dienen peilfilters rondom de berging te worden geplaatst.
- Aan de bovenstroomse zijde van de stort/opslagplaats dient tenminste één referentieboring te worden uitgevoerd met daarin het aantal putfilters zoals hieronder aangegeven.
- Voor het opstellen van een richtlijn met betrekking tot de onderlinge afstand tussen de peilbuizen is de technische onderbouwing moeilijk. Het blijft in alle gevallen een subjectieve afweging tussen risico's van het niet ontdekken van verontreinigd grondwater en de kosten van het installeren, bemonsteren en analyses. De aard van de geborgen stoffen speelt daarin tevens een rol. Vooral nog wordt er van uitgegaan dat de onderlinge afstand bij voorkeur circa 25 m zal zijn. Voor de referentiebuizen kan als uitgangspunt 1 buis per 100 á 150 m breedte van het stort worden gebruikt. Indien de eerste fase van realiseren van de berging op grotere afstand (enige honderden meters) van de peilbuizen plaatsvindt bij een geringe stroomsnelheid van het grondwater (bijvoorbeeld 5 m/jaar) kan plaatsen in eerste aanleg op onderling afstanden van 100 m gebeuren. Verdichten tot 25 m kan op een geëigend moment plaatsvinden.

- Verticaal dient de maximale afstand tussen de filters, met een filterlengte van 1 m, niet meer dan 25 m te bedragen.
Omdat het diepste filter juist boven de onderzijde van het watervoerende pakket moet worden geplaatst en het bovenste filter circa 1 m beneden de laagste grondwaterstand is er een relatie tussen de dikte van het watervoerende pakket en het aantal te plaatsen filters in een boorgat. Onder de dikte van het watervoerende pakket wordt verstaan de afstand tussen de laagste grondwaterstand en de ondoorlatende laag die een watervoerend pakket aan de onderzijde begrensd.
De relatie tussen de dikte van het watervoerend pakket en het aantal te plaatsen filters wordt in het volgende plaatsingsschema aangegeven.
Kleine of grotere storende lagen binnen het watervoerend pakket kunnen aanleiding zijn het plaatsingsschema aan te passen aan de lokale omstandigheden.

Selectieschema filterplaatsing

dikte watervoerende laag	filterlengte; plaatsingsniveau
dikte tot 25 m	1 m; 1 m boven "ondoorlatende" laag 1 m; halverwege L.G. en "ond." laag 1 m; 1,00 m onder de L.G.
dikte 25 - 50 m	1 m; 1 m boven "ond." laag 1 m; halverwege L.G. en "ond." laag 1 m; 3/4 afstand boven "ond." laag 1 m; 1,00 onder L.G.
dikte 50 - 75 m	1 m; 3/4, 1/2, 1/4 van de totale afstand en 1 m boven "ond." laag. 1 m; 1,00 m onder L.G.
etc.	

- Bemonstering van de putfilters dient tenminste 1 á 3 maal per jaar plaats te vinden (artikel 11 Uitvoeringsregeling). Voor de bemonsteringsprocedure wordt verwezen naar de voorlopige praktijkrichtlijnen (reeks bodembescherming nr. 55 B) en de Leidraad Bodembescherming, aflevering 6 (1990) par. 2.2.1. "Onderzoeksmethoden en -technieken verontreinigingssituatie".

Bemalen putfilters

Bij putfilters zoals hiervoor besproken is de kans reëel aanwezig dat verontreinigingen van geringe omvang niet worden vastgesteld. Dit nadeel is te ondervangen door de peil- of putfilters periodiek te bemalen gedurende korte of langere tijd, danwel een permanente bemaling toe te passen.

De dimensionering van een dergelijk systeem moet worden gebaseerd op de resultaten van een hydrologische berekening, zoals bijvoorbeeld met behulp van het programma Flop van het RIVM.

Tabel 4: Controlesystemen voor de grondwaterkwaliteit

1. inventarisatie	2. veld/laboratoriumonderzoek	3. rapportage
<ul style="list-style-type: none">● grondwaterkaart● geohydrologisch profiel● kwaliteit percolatiewater● k-waarde● kD-waarde● stroomsnelheid● stromingsrichting	<ul style="list-style-type: none">● zie tabel 1 voor:<ul style="list-style-type: none">- handboringen- peilbuizen- mechanisch boren● bemonstering: grond grondwater● chemische analyses	<ul style="list-style-type: none">● aangeven huidige bodemkwaliteit (grond en grondwater)● geohydrologie: stromingsrichting; stroomsnelheid; GHG/GLG; evt. zoet/zout-grens; kwel/wegzijging.● karakterisering percolatiewater<ul style="list-style-type: none">- kenmerkende parameters- dichtheid● motivering opzet controlesysteem<ul style="list-style-type: none">- verticaal-horizontaal-doelstelling- modelberekeningen● beschrijving controlesysteem<ul style="list-style-type: none">verticaal: * peilbuizen; * plaats; * aantal; * diepte filters; * bemonsteringsfrequentie; * bemalingsregime;horizontaal: * drainbuizen-filtermateriaal; * plaats, afstand, diepte; * bemalingsniveau; * wijze van bemonsteren (frequentie en duur onderbemaling) * beoordelingscriterium● beheer en onderhoud controlesysteem

Met behulp hiervan kunnen de afstanden tussen de filters, de benodigde bemalingstijd en het bemalingsdebiet worden vastgesteld. De afstanden tussen de putfilters moeten zodanig zijn dat de invloedssferen elkaar overlappen.

Ook in dit geval dient een maximale signaleringstijd van 15 jaar op grond van een schematische berekening te worden aangetoond.

Bemonstering zal tenminste 1x per halfjaar dienen plaats te vinden.

Geofysisch onderzoek

Door geofysisch onderzoek (met name elektromagnetisch onderzoek) kan een continu beeld van het geleidingsvermogen in de ondergrond worden verkregen. In dit opzicht biedt dit type van controle voordelen ten opzichte van putfilters. Uitvoering zal bijvoorbeeld plaats kunnen vinden in beheersstroken rondom stortplaatsen. Onuitvoerbaar is het systeem in stedelijke gebieden, terwijl ook in landelijke gebieden bepaalde lokale omstandigheden de waarnemingen kunnen beïnvloeden. Oorzaken van verstoringen kunnen zijn hogere zoutgehalten, lokaal aanwezige bemalingen, klei- en veenvoorkomens en gecompliceerde bodemprofielen. Bij toepassen van dit detectiemiddel zal dan ook altijd verificatie van de bodeminvloeden moeten plaatsvinden met behulp van boringen. Waar met dit onderzoek wel goede resultaten mogelijk zijn, kan het in combinatie met putfilters een goed controlemiddel vormen.

Gezien de specifieke omstandigheden voor de uitvoering zijn voor dit systeem als controlemiddel geen éénduidige richtlijnen op te stellen.

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven voor ontwerp, aanleg en beheer van de controlesystemen.

4.4 Afvoersystemen voor oppervlakkig afstromend water

In het Stortbesluit wordt aangegeven dat zo spoedig als (stort-)technisch mogelijk na beëindiging van de stortactiviteiten de stortplaats, een stortvak of een groep van stortvakken gezamenlijk, moet worden voorzien van een bovenafdichting.

In de "Richtlijn dichte eindafwerking" en de "Handleiding" wordt ingegaan op de wijze waarop een dergelijke bovenafdichting moet worden aangebracht.

In veel gevallen zal een bovenafdichting bestaan uit een combinatie van kunststof folie en een minerale afdichtingslaag waarop een drainagelaag en grond (leeflaag) is aangebracht. Deze afdichtingsconstructie dient grondmechanisch stabiel te zijn waarbij een grasvegetatie vereist is om erosie te voorkomen. Hoog opgaande beplanting wordt ontraden. De stabiliteit is in grote mate afhankelijk van de wijze waarop het overtollig regenwater wordt afgevoerd.

In verband hiermee zijn de volgende richtlijnen opgesteld:

- voor de begroeiing op een bovenafdichting is het aanbrengen van een humushoudende laag noodzakelijk waarin aan het begin van het groeiseizoen een vochtvoorraad van tenminste 125 mm aanwezig dient te kunnen zijn;
- de dikte van de doorwortelbare grond dient ten minste 0,80 m te bedragen bij grasvegetatie en 1,0 m bij dieper wortelende gewassen;

- de infiltratiecapaciteit van de bovengrond dient tenminste 0,50 m/d te bedragen om erosie door afstromend water te voorkomen;
 - voor de bepaling van de stabiliteit van een grondlaag op een folie, alsook van storttaluds, dienen doorgaans stabiliteitsberekeningen te worden uitgevoerd. Belangrijke parameters hierbij zijn:
 - dikte van de afdeklaag;
 - volumieke massa van de afdekgrond;
 - wrijvingshoek en cohesie van de grond;
 - wrijvingshoek en cohesie van de folie;
 - grondwaterstand in de afdeklaag;
 - bij taludhellingen steiler kan 1:3,5 moeten de parameters worden vastgesteld door onderzoek (schuifproef);
 - bij hellingen tussen 1:3,5 en 1:5 worden de waarden van de parameters ingeschat door een deskundige.
- Ontwerpberekeningen zijn voorgeschreven voor taluds steiler dan 1:5. Indien bij ontwerpberekeningen veiligheidscoëfficiënten kleiner dan 1 worden gevonden dient alsnog laboratoriumonderzoek plaats te vinden.
- Boven de afdichtende constructie is een drainerende zandlaag met drains en de hiervoor genoemde leeflaag van grond voorzien. De drainerende laag en het daarin aan te brengen drainagesysteem worden zodanig gedimensioneerd dat de maximale opbolling tussen de drains onder het niveau van de onderzijde van de leeflaag blijft. Voor de ontwerpberekeningen en stabiliteitsberekeningen zijn methoden in "Richtlijn" en "Handleiding" aangegeven.
 - indien uit de berekeningen instabiliteit van de bovenafdichting zou blijken, kunnen de volgende aanpassingen aan het ontwerp worden overwogen.
 - flauwere taludhelling;
 - kleinere drainafstand;
 - toepassing van grond met betere grondmechanische eigenschappen.

Erosie van taluds, die nog niet begroeid zijn, is vaak niet geheel te voorkomen. De aanleg van de bovenafdichting dient daarom plaats te vinden op een zodanig tijdstip dat het aanslaan van de begroeiing nog mogelijk is zo kort mogelijk na gereedkomen van de afdichting (gereed zijn vóór de maand september).

In "Handleiding" en "Richtlijn eindafwerking" zijn eveneens stabiliteitsbeschouwingen opgenomen voor terrassen in taluds, erosiebeperkende voorzieningen als greppels, en de wijze van afwerken van de leeflaag.

Het van taluds afstromende regenwater dient, zonodig door buisleidingen, te worden afgevoerd naar open water. Het afvoeren van ingedrongen en op de bovenafdichting in de drains opgevangen water kan met oppervlakkig opstromend water worden gecombineerd. Ook ter plaatse van de aansluiting aan maaiveld zijn voorzieningen noodzakelijk.

Als voorbeeld zijn in de volgende tabel een aantal berekeningsresultaten vermeld waarin de (maximale) drainafstand (l) in meters wordt aangegeven bij een opbolling (h) tussen de drains in een drainerende laag boven een bovenafdichting met een taludhelling van 1:3 en een infiltratie van 10 mm/dag.

Nadere toelichtingen zijn opgenomen in de "Handleiding".

Drainafstand van ontwateringssysteem bovenafdichting, helling 1:3

opbolling h in m	drainafstand in meters bij een door- latendheid afdekgrond in m/dag van:				
	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0
0,25	3	5	9	17	40
0,50	6	10	18	34	81
0,75	9	15	27	51	121
1,00	12	50	36	68	162

Om incidentele drainuitval te compenseren wordt de berekende drainafstand tenminste met 25% verkleind.

LITERATUUR

- [1] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) (1984): Sickerwasser aus Hausmüll und Schlackendeponien.
(Laga-Informationsschrift Sickerwasser 4725.
- [2] Hans-Günter Ramke:
Überlegungen zur Gestaltung und Unterhaltung von Entwässerungssystemen bei Hausmülldeponien.
in: Fortschritte der Deponietechnik 1986.
- [3] Ministerie VROM/Heidemij Advies BV (1984)
Opvang en behandeling van percolatiewater van afvalstortterreinen.
Nr. 35 in de reeks "Bodembescherming".
- [4] Rijkswaterstaat (1978)
Eisen voor bouwstoffen in de wegenbouw.
- [5] T.A. (Sonder-) Abfall, Abfall- und Reststoffüberwachungs Verordnung für besonders überwachungbedürftigen Abfällen; Verlag W. Kohlhammer, 2. Auflage 1991.
- [6] Stortbesluit Bodembescherming. Staatsblad 1993-55.
- [7] Uitvoeringsregeling Stortbesluit Bodembescherming
Ministerie van VROM, 1993.
- [8] Richtlijnen voor dichte eindafwerking op afval en reststofbergingen, d.d. juli 1991.
Ministerie van VROM, publikatiereeks bodembescherming nr. 1991/2.
- [9] Handleiding voor ontwerp en constructie van dichte eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen;
Ministerie van VROM, publikatiereeks bodembescherming nr. 1991/4.

BIJLAGE 1

Hydrologische aspecten van een controle-drainagesysteem

Inleiding

In paragraaf 4.3.1 zijn als parameters voor het bepalen van de effectiviteit van een horizontaal controlesysteem voor grondwater aangegeven de signaleringstijd en de verdunning. In deze bijlage wordt ingegaan op de signaleringstijd. Hiertoe is een aantal berekeningen uitgevoerd met behulp van een computermodel. De consequenties voor de praktijk worden toegelicht.

In de eerder uitgegeven "Richtlijn bodembeschermende voorzieningen" (VROM Bodemreeks rapportnr. 78), waarvan het voorliggende document is afgeleid, werd voor deze berekeningen een twee-dimensionale rekentechniek toegepast. Het hier gebruikte model heeft een drie-dimensionaal karakter.

Berekeningen met FLOP3N

Met het programma FLOP3N (Veling, 1993) zijn berekeningen uitgevoerd om de grootte van het intrekgebied rondom een horizontale drain te bepalen. FLOP3N (FLOw Pattern 3-dimensional N layers) is een particle-tracking programma voor een systeem met homogene, isotrope of anisotrope lagen, waarin volkomen of onvolkomen bronnen aanwezig zijn.

Voor de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd c.q. aannames gedaan:

- 1 De stortplaats is voorzien van een bodemafdichting. Hierdoor zal tijdens de afpompperiode geen voeding van het grondwater van bovenaf plaatsvinden.
- 2 In de uitgangssituatie heeft het grondwater geen natuurlijke stromingscomponent.
- 3 Het controledrainagesysteem is gelegen in een homogeen bodemprofiel.
- 4 Het controledrainagesysteem ligt 1,0 m beneden de actuele grondwaterstand.
- 5 De porositeit bedraagt 0,30.
- 6 De bodemlaag tussen en boven de drains tot de actuele grondwaterstand is verzadigd. Het volume water in deze zone wordt in 10 dagen opgepompt. Dit betekent, dat voor een drainafstand van 10 m het debiet per strekkende meter drain $1,5 \text{ m}^3$ per 10 dagen bedraagt. Voor een drain met een lengte van 250 m en een onderlinge afstand van 10 m betekent dit een debiet van $37,5 \text{ m}^3$ per dag. Het debiet van de controledrains is dusdanig gekozen dat in 10 dagen een hoeveelheid grondwater wordt afgepompt die overeenkomt met het grondwater dat aanwezig is in de meter boven de drains. De isochroon met een verblijftijd van 10 dagen is dan de begrenzing van het invloedsgebied van de controledrain na 10 dagen afpompen.
- 7 De stroming is tijdens de 10-daagse afpompperiode stationair.
- 8 Controle vindt 1 maal per jaar plaats.

De drain is gesimuleerd als een oneindig lange rij onvolkomen putten (met een filterlengte van 20 cm), die een onderlinge afstand hebben van 20 cm. Voor twee situaties zijn twee drains gesimuleerd, met een onderlinge afstand van respectievelijk 5 en 10 m. De berekeningsresultaten zijn weergegeven in tabel 1.1 en in de figuren 1.1 (voor een drainafstand van 5 m) en 1.2 (voor een drainafstand van 10 m).

Tabel 1.1: Invloedsgebieden bij drainagesystemen bij een afpomptijd van 10 en 20 dagen en een drainafstand van 5 en 10 m

	drainafstand (m)			
	5		10	
	afpomptijd (d)		afpomptijd (d)	
	10	20	10	20
breedte bemalen strook (m)	0,60	0,85	0,90	1,35
opvangpercentage	24	34	18	27

Voor de hier onderzochte situaties blijkt, dat de toestroming naar de controledrains, gezien in het verticale vlak loodrecht op de drain, benaderd mag worden door een ellipsvormig stroombeeld. Het invloedsgebied van de controledrainage is een ellipsvormige zuil, met de controledrain als as. Bij een twee dimensionaal rekenmodel zou hier een cirkelvormige benadering ontstaan.

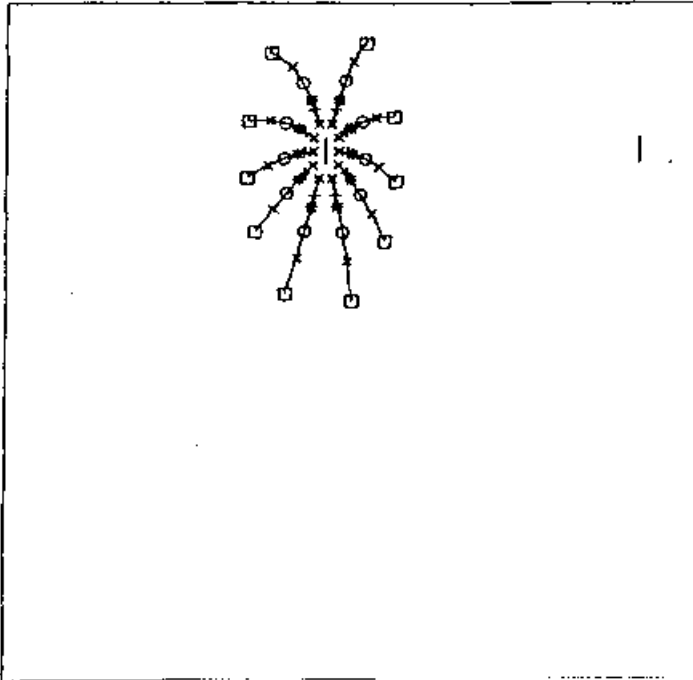
In het jaar, gelegen tussen twee controleperioden van 10 dagen, stijgt de grondwaterstand weer tot het oorspronkelijke niveau door aanvulling van onderaf (en voor een deel door lekkage door de bovenafdichting). Een eventuele verontreiniging zal zich in de periode tussen twee controles niet in horizontale richting verplaatsen omdat geen natuurlijke grondwaterstroming wordt verondersteld.

Dit betekent, dat een verontreiniging die zich midden tussen twee drains bevindt, zich vrijwel alleen in verticale richting op en neer beweegt. Hierop wordt in het vervolg van deze bijlage ingegaan. In werkelijkheid zal de situatie echter anders zijn omdat geheel stilstaand grondwater nooit voorkomt.

Uit gevoeligheidsanalyses met het programma FLOP3N blijkt dat de dikte van het watervoerend pakket weinig en de doorlatendheid van de grond geen invloed heeft op de omvang van het invloedsgebied tijdens 10 dagen afpompen. Uiteraard vindt zowel bij een twee-dimensionaal als een drie-dimensionaal model wel beïnvloeding plaats indien er onder drainniveau slechts een geringe laag water aanwezig zou zijn op een slecht doorlatende bodemlaag.

Uit de berekeningsresultaten kan het opvangpercentage worden afgeleid. De resultaten staan samengevat in tabel 1.2.

Figuur 1.1 Toestroming naar controledrains (de stroming naar de drains is symmetrisch; toestroming naar 1 drain is afgedrukt), bij een drainafstand van 5 m.



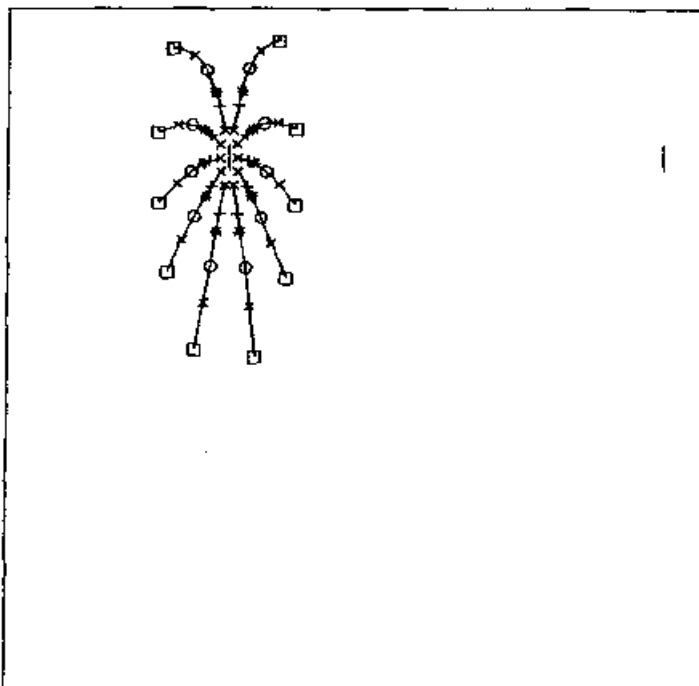
FLOP3N, run 00, drain dist. 5m, thi. 5m.

$k = 1\text{m/d}$, $q = 0\text{mm/y}$

X-window -5.00 - 6.00 m.
Z-window 0.00 - 5.00 m.

+	: 1.00 d.	*	: 2.00 d.
○	: 5.00 d.	x	: 10.00 d.
□	: 20.00 d.		

Figuur 1.2 Toestroming naar controledrains (de stroming naar de drains is symmetrisch; toestroming naar 1 drain is afgedrukt), bij een drainafstand van 10 m.



FLOP3N, run 00b, drain dist. 10m, thi. 5m.

$k = 1\text{m/d}$, $q = 0\text{mm/y}$

X-window -5.00 - 11.00 m.
Z-window 0.00 - 5.00 m.

+	: 1.00 d.	*	: 2.00 d.
○	: 5.00 d.	x	: 10.00 d.
□	: 20.00 d.		

Het opvangpercentage is te berekenen met de volgende formule:

$$p = \left(0,5 * L - \frac{b}{0,5 * L}\right) * 100 \quad (1)$$

waarin:

- b** = breedte van de bemalen strook, dat is het gedeelte van het grondwater, gezien op drainniveau, dat wordt afgemalen in de bemalingsperiode (m)
- p** = opvangpercentage, dat is het percentage ondiep grondwater, gezien op drainniveau, dat wordt opgepompt in de bemalingsperiode (%)
- L** = drainafstand (m)

Op grond van de berekeningen, zoals vermeld in tabel 1.1, is in tabel 1.2 het aantal jaren aangegeven waarna een verontreiniging midden tussen de drains kan worden geconstateerd, afhankelijk van de snelheid van de natuurlijke grondwaterstroming. Hiervoor is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$s = \frac{(0,5 * L) - b}{v} \quad (2)$$

waarin:

- S** = signaleringstijd (j)
- v** = natuurlijke grondwaterstromingssnelheid (m/j)

Tabel 1.2: Signaleringstijd controledrains in jaren, onder de aanname dat de drains op 1,0 m beneden het grondwaterniveau liggen en dat de bemonsteringsfrequentie 1 maal per jaar bedraagt. De afpomptijd bedraagt 10 dagen. De signaleringstijd is naar boven afgerond op gehele jaren. Het water start midden tussen de drains.

drainafstand (m)	natuurlijke grondwaterstroming (m per jaar)				
	1	2	3	4	5
5	2	1	1	1	1
10	5	3	2	1	1

Indien de afpomptijd wordt verlengd tot 20 dagen, dan neemt de signaleringstijd uiteraard af. Bij een natuurlijke grondwaterstroming van 1 m per jaar en een drainafstand van 10 m bedraagt de signaleringstijd dan 4 jaar.

Situaties zonder natuurlijke grondwaterstroming

Indien geen natuurlijke stroming aanwezig is, kan de stroming van een plek midden tussen de drains naar de drains oneindig lang duren.

De stroming van het grondwater naar evenwijdige ontwateringsmiddelen (sloten of drains) wordt berekend met behulp van de volgende aannames:

1. De stroming is stationair;
2. Het pakket is homogeen en isotroop; de pakketdikte is overal gelijk;
3. Er is een dik watervoerend pakket aanwezig; dikte groter dan de drainafstand;
4. Er vindt geen menging plaats door diffusie en/of dispersie.

Ernst (1973) heeft een aantal formules afgeleid waarmee de (stationaire) stroming naar sloten kan worden berekend.

$$T_x = \frac{e \cdot D}{I} \cdot \ln \frac{L}{2 \cdot x} \quad (3)$$

waarin:

T_x	=	verblijftijd	(j)
e	=	poriënvolume	(-)
I	=	grondwateraanvulling	(m/j)
D	=	pakketdikte	(m)
L	=	drainafstand	(m)
x	=	afstand van waterdeeltje tot het punt midden tussen de drains	(m)

Om het effect van de dikte van het watervoerend pakket, van de afpomp-frequentie en van de grondwaterstandsverlaging op de verblijftijd te bepalen, is een aantal berekeningen uitgevoerd. Hiervoor zijn de volgende aannames gedaan:

1. Het poriënvolume is 0,3%.
2. Een waterdeeltje start op $0,1 \cdot L$ meter vanaf het punt midden tussen de drains. Dit betekent, dat 90% van het water een kortere verblijftijd heeft. In een situatie met een drainafstand van 5 m betekent dit dat het waterdeeltje op 0,5 m van het punt midden tussen de drains start; in een situatie met een drainafstand van 20 m betekent dit dat het waterdeeltje op 2 m van het punt midden tussen de drains start.
3. De drainafstand bedraagt 5 m.
4. Er is geen grondwaterstroming.

Op basis van deze uitgangspunten is formule (1) te vereenvoudigen tot:

$$T = \frac{e \cdot D}{I} \cdot \ln \frac{L}{0,2L} = \frac{e \cdot D}{n \cdot d \cdot e} \cdot \ln \frac{L}{0,2L} = 1,61 \frac{D}{n \cdot d} \quad (4)$$

waarin:

n = aantal keren afpompen

d = verlaging van het freatisch vlak na afpompen

In tabel 1.3 is een aantal situaties opgenomen waarin de verblijftijd van een waterdeeltje in afhankelijkheid van de laagdikte en de voeding van het watervoerend pakket wordt bepaald.

Tabel 1.3: Verbleeftijd (jaar) van het grondwater op 0,1*L vanaf het punt midden tussen de drains in relatie tot de verlaging van de grondwaterstand (m), afpompfrequentie en laagdikte (m) van het watervoerend pakket

laagdikte	verlaging freatisch vlak (m)			
	0,25 m		1,0 m	
	aantal keer afpompen		aantal keer afpompen	
	1 * per jaar	4 * per jaar	1 * per jaar	4 * per jaar
5	32,0	8,0	8,0	2,0
15	96,0	24,0	24,0	6,0
25	160,0	40,0	40,0	10,0

Slotconclusies

Ten aanzien van het ontwerp en de werking van een controle-drainagesysteem onder een bodemafdichting van enige omvang kunnen uit het voorgaande de volgende conclusies worden getrokken.

- De diepteligging dient zodanig te zijn dat bij de aanvang van de bemonstering het systeem tenminste enige decimeters (lieft 0,50 m of meer) onder het grondwater ligt.
- De drains dienen zoveel mogelijk te worden aangelegd loodrecht op de stromingsrichting van het grondwater.
- De signaleringstijd is afhankelijk van de snelheid van de natuurlijke grondwaterstroming en van de drainafstand. De signaleringstijd neemt slechts beperkt toe met de dikte van het watervoerend pakket.
- Meerdere keren afpompen en langer afpompen verkort de signaleringstijd.
- De signaleringstijd van water dat start halverwege de drains bedraagt bij jaarlijks afpompen en een drainafstand van 10 m maximaal 5 jaar (bij een natuurlijke grondwaterstromingssnelheid van 1 m per jaar) (zie tabel 1.2). Bij een natuurlijke grondwaterstroming van 3 m per jaar daalt de signaleringstijd tot 2 jaar. Indien het water net buiten de invloedssfeer van de bovenstroomse drain start kan de signaleringstijd oplopen tot 9 jaar (bij een natuurlijke grondwaterstroming van 1 m per jaar).
- In een situatie zonder natuurlijke grondwaterstroming kan, bij een pakketdikte van 25 m, de signaleringstijd van een lekkage op een punt midden tussen de drains oplopen tot meer dan 100 jaar. Situaties met een dik watervoerend pakket dienen daarom te worden voorkomen (zie tabel 1.3).

Literatuur

Ernst, L.F., 1973. De bepaling van de transporttijd van het grondwater bij stroming in de verzadigde zone. Nota 755, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Veling, E.J.M., 1993. FLOP - grondwaterstroming, nu ook in drie dimensies. H₂O (26) 1993, nr 1; pag 15-22.

BIJLAGE 2

**Bepaling van de hoogste en laagste
grondwaterstand uit grondwatertrappen**

Ten aanzien van de indeling naar grondwatertrappen kan in aansluiting op de toelichting op de bodemkaart het volgende vermeld.

De grondwaterstand op een bepaalde plaats varieert in de loop van een jaar.

In het algemeen zal het niveau in de winter hoger zijn dan in de zomer. Bovendien zullen ook van jaar tot jaar verschillen optreden, met andere woorden de lijnen die het verband tussen de diepteligging van de grondwaterspiegel beneden maaiveld en de tijd aangeven (tijdstijghoogtelijnen), zullen van jaar tot jaar een verschillend verloop vertonen. Het is mogelijk uit langjarige waarnemingen de gemiddelde hoogste (afgekort GHG), respectievelijk de gemiddeld laagste (afgekort GLG) grondwaterstand te berekenen. Een goede benadering kan worden verkregen door de drie hoogste waterstanden per hydrologisch jaar (april t/m maart) te middelen en dit te herhalen over een aaneengesloten periode van 8 jaar (Stortbesluit). Het rekenkundig gemiddelde hiervan levert de GHG.

Door op dezelfde wijze te handelen met de drie laagste grondwaterstanden over 8 opeenvolgende hydrologische jaren, kan men de GLG berekenen (Van Heesen, 1971). Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand op een bepaalde plaats kan - schematisch - worden gekarakteriseerd door de GHG en GLG.

De waarden die men voor deze grootheden vindt, kunnen van plaats tot plaats vrij sterk variëren. Daarom is de klassenindeling, die is ontworpen op basis van de GHG en GLG, betrekkelijk ruim van opzet. Elk van deze klassen - de grondwatertrappen (Gt's) - is gedefinieerd door een combinatie van een zeker GHG- en GLG-traject (bijvoorbeeld GHG 40-90 cm met GLG > 120 cm beneden maaiveld, GT VI, of alleen door een GLG-traject (bijvoorbeeld GLG 50 - 80 cm, GT II); in het laatste geval ligt de GHG namelijk vrijwel steeds in de buurt van het maaiveld.

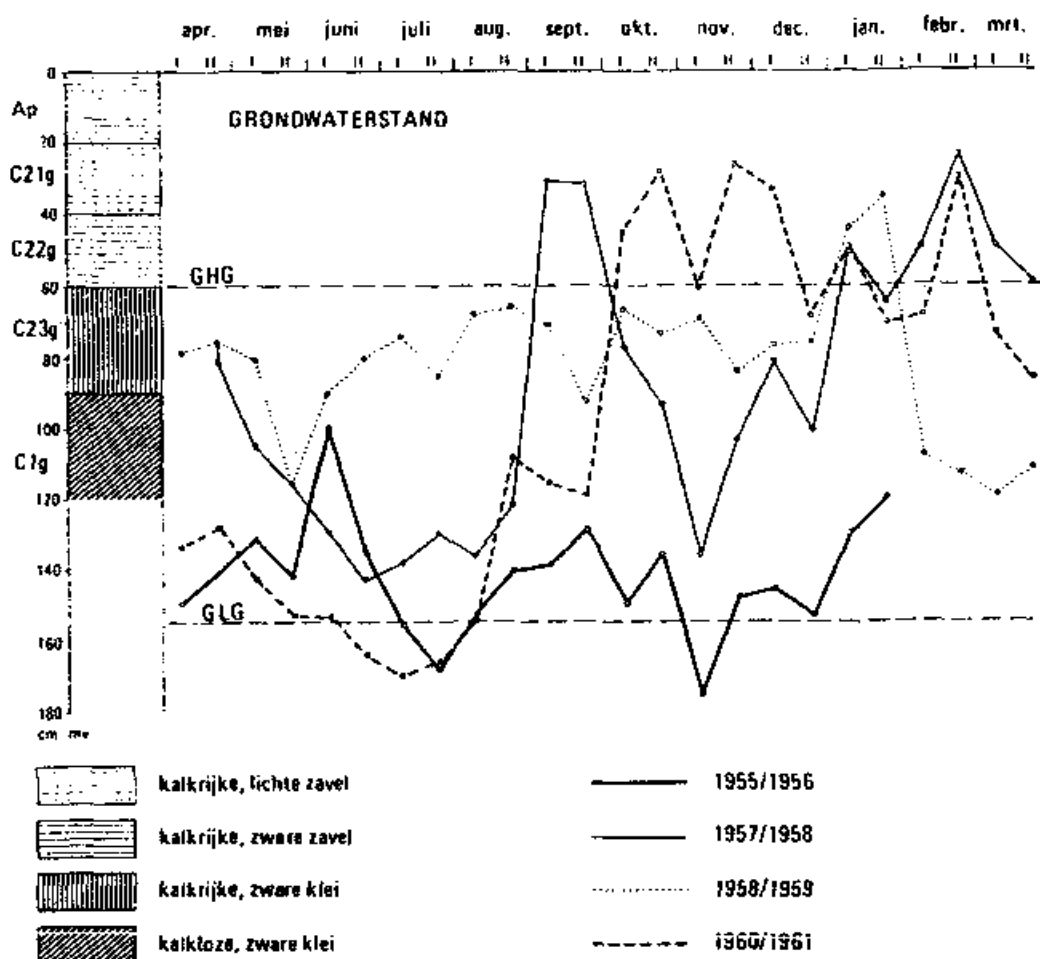
In tabel 2.1 is de grondwatertrappenindeling weergegeven.

Tabel 2.1: Grondwatertrappenindeling

grondwatertrap	I	II	III	IV	V	VI	VII
GHG in cm onder maaiveld	-	-	< 40	> 40	< 40	40-80	> 80
GLG in cm onder maaiveld	< 50	50-80	80-120	80-120	> 120	> 120	> 120

Wanneer aan een vlak van een kaarteenheden of aan een deel ervan een bepaalde Gt is toegekend, wil dat zeggen dat de GHG's en de GLG's van de gronden binnen het vlak, afgezien van afwijkingen ten gevolge van het voorkomen van inhomogeniteiten, zullen variëren binnen de grenzen gesteld voor de desbetreffende Gt. Daarmee wordt dus informatie gegeven over de grondwaterstanden die men er circa juni-juli (GLG), respectievelijk circa december-februari (GHG) in een gemiddeld jaar mag verwachten.

Bij het karteren wordt de Gt die aan een grond wordt toegekend, door schatting vastgesteld. Men leidt uit de profielopbouw, meer speciaal uit de kenmerken die met de actuele waterhuishouding samenhangen - zoals bepaalde roest-, reductie- en blekingsverschijnselen - de GHG en GLG en daaruit de Gt af.



Afb. 6 Vier tijdstijghoogtelijnen van de COLN-stambuis nr. 2969 in een kalkrijke rivierkleigrond (Rn95A) met Gt VI.

Profielschets met korrelgroottesamenstelling links van de grondwaterstandscurven. Uit de waarnemingsperiode 1955-1961 zijn vier karakteristieke jaren afgebeeld. De aangegeven GHG en GLG zijn berekend uit de volledige gegevens.

Boven de grondwaterstandscurven is de maandsom van de neerslag in dezelfde vier jaren aangegeven (KNMI-station Nijmegen).

Gegevens Dienst Grondwaterverkenning TNO, Archief van Grondwaterstanden.

Figuur 2.1: Overdruk van Dienst Grondwaterverkenning TNO

Uit de gegeven definitie van GHG kan worden afgeleid dat er geen directe overeenkomst is tussen de GHG en de hoogste grondwaterstand. Of met andere woorden: de ter plaatse geldende GHG dient met een zekere waarde verhoogd te worden om te komen tot een grondwaterstand die gemiddeld 1 maal 10 jaar bereikt of overschreden wordt. Een overeenkomstige redenering geldt voor de bepaling van de laagste grondwaterstand uit de GLG. De grootte van deze verhoging is zonder een uitvoerige analyse niet exact vast te stellen. Wel kan worden gesteld dat deze waarde afhankelijk zal zijn van het fluctuatiepatroon dat ter plaatse voorkomt. Indien het in een bepaalde situatie wenselijk is de HG of LG bij benadering vast te stellen, kan de hierna beschreven principe-oplossing worden gebruikt.

In figuur 2.1 zijn tijdstijghoogtelijnen op één plaats in verschillende jaren weergegeven. Mede op grond hiervan wordt het volgende voorgesteld:

Gt I, Gt II	:	hoogste grondwaterstand = GHG + 0,10 m;
Gt IV, Gt VII	:	hoogste grondwaterstand = GHG + 0,20 m;
Gt III, Gt V, Gt VI	:	hoogste grondwaterstand = GHG + 0,30 m.

Ten aanzien van de laagste grondwaterstand wordt voorgesteld deze te stellen op GLG-0,20 m.

BIJLAGE 3

Stoffenkenze, detecteerbaarheid en werkwijze
voor het signaleren van een lekkage
door controledrains

1. Inleiding

Bij de controle-functie van de drainage is het doel om, door bemonstering en analyse van het drainagewater, een eventueel optredende lekkage in de onderafdichting van een stort te kunnen signaleren en wel:

- met zo groot mogelijke mate van zekerheid;
- zo spoedig mogelijk na het ontstaan van de lekkage.

Een en ander wordt bepaald door:

- a. de dimensionering van het drainage-systeem op basis van hydrologische aspecten, behandeld in bijlage 1.
- b. de detectiemogelijkheden van het systeem, waarbij hierna worden behandeld:
 - frequentie en tijdstip van afpompen en bemonsteren;
 - stoffen/parameter(s) waarop de watermonsters het best kunnen worden onderzocht (geschikte "signaalparameters");
 - interpretatie van de analyses en eventueel te treffen aanvullende maatregelen.
- c. de dimensionering op basis van verdunningsaspecten.

2. Criteria voor geschikte signaalparameters

Bij de signaalparameters kan het gaan om stoffen die door analyse in het drainagewater worden bepaald of parameters zoals pH, temperatuur, elektrisch geleidingsvermogen (EC) die rechtstreeks een indicatie kunnen geven van bijmenging van uit het stort afkomstige stoffen in het grondwater.

Voor de geschiktheid als signaalparameter kunnen de volgende criteria gehanteerd worden:

- a. Aanwezigheid in percolaat van het betreffende type stort: universeel (voorspelbaar) en in voldoende hoeveelheid. Dit impliceert ook dat de stof voldoende oplosbaar moeten zijn.
- b. Mobiliteit: bij voorkeur conservatieve stoffen; dat wil zeggen stoffen die in nagenoeg ongewijzigde concentratie met het percolatiewater "meelopen" en dus weinig of niet onderhevig zijn aan mechanismen als:
 - afbraak;
 - chemische precipitatie (o.a. complexvorming);
 - adsorptie (vooral aan klei- en organische stofdeeltjes), dat met name plaatsvindt bij zware metalen.
- c. Onderscheidbaarheid van achtergrondkwaliteit grondwater: voor milieu-vreemde stoffen betekent dit dat, na verdunning, het gehalte nog boven de detectiegrens moet liggen. Voor stoffen, zoals Cl, die normaal ook in het grondwater voorkomen, moet het gehalte, na verdunning, nog significant van de achtergrondconcentratie afwijken. Een en ander wordt nader uitgewerkt in paragraaf 4 van deze bijlage.
- d. Zo eenvoudig mogelijke analyse: bij overigens gelijkwaardige parameters gaat de voorkeur uit naar de parameter(s) die op de meest eenvoudige en goedkope manier is (zijn) te bepalen.

3. Samenstelling percolatiewater van opslag-, c.q. stortplaatsen

3.1 Algemeen

De samenstelling van percolaat van verschillende opslag- en stortplaatsen varieert sterk en is afhankelijk van:

- Type stort/opslag: bij huishoudelijk afval zijn CZV en BZV de meest in het oog springende parameters, terwijl deze bij bijvoorbeeld vliegias van geen betekenis zijn.
- Binnen één hoofdtype, bijvoorbeeld huisvuil, bestaat ook een grote variatie als gevolg van diverse factoren. Een belangrijke factor is de samenstelling en ouderdom van het huishoudelijk afval: onder invloed van biologische activiteiten zullen enkele parameters in het percolaat, vooral BZV en CZV, in de loop van de tijd sterk veranderen (in dit geval dalen).

3.2 Huishoudelijk afval

Enige indicatieve gegevens zijn samengevat in respectievelijk tabel 3.1 en 3.2.

Tabel 3.1: Karakteristiek van percolaat van huishoudelijk afval in zure en methaangistende fase (VROM), 1984)

	zure fase	methaangistende fase	
CZV	35.000	3.000	mg/l
BZV	14.000	400	mg/l
TOC	8.000	100	mg/l
N-kj	500	350	mg/l
P-totaal	10	5	mg/l
pH	6,2	7,5	-
EC	1.000	350	mS/m
Cl ⁻	3.500	3.500	mg/l
SO ₄ ⁻	400	20	mg/l
NO ₃ ⁻	3	0,1	mg/l
NO ₂ ⁻	2	0,1	mg/l
Na ⁺	3.000	1.000	mg/l
K ⁺	1.000	500	mg/l
Mg ²⁺	400	100	mg/l
Ca ²⁺	1.200	60	mg/l
Cr	0,2	<0,1	mg/l
Mn	50	0,5	mg/l
Fe	800	10	mg/l
Ni	1,0	1,0	mg/l
Cu	0,3	0,3	mg/l
Zn	20	2	mg/l
Cd	<0,1	<0,1	mg/l
Pb	0,3	<0,1	mg/l
Co	0,1	0,1	mg/l
Hg	0,002	0,002	mg/l
As	0,1	0,1	mg/l

Tabel 3.2: Analyseresultaten van poriën- en percolatiewater van zuiverings-slib van twee locaties in Nederland

parameter	eenheid	locatie I		locatie II	
		gemid- delde	uiterste waarden	gemid- delde	uiterste waarden ¹⁾
CZV	(mg/l)	620	350 - 890	1900	220 - 4000
BZV	(mg/l)	120	50 - 170	1010	25 - 2700
Kjeldahl-N	(mg/l)	750	360 - 900	300	60 - 550
NH ₄ -N	(mg/l)	700	310 - 880	280	50 - 500
Cl	(mg/l)	350	280 - 430	-	-
Zn	(µg/l)	300	-	70	10 - 130
Pb	(µg/l)	<100	-	6	1 - 14
Cd	(µg/l)	< 10	-	0,5	-
Cr	(µg/l)	100	-	6	3 - 10
Cu	(µg/l)	<100	-	30	4 - 40
Ni	(µg/l)	<100	-	510	15 - 200

Toelichting:

¹⁾ Door verschil in vullen van de slibbedden ontstaan grote verschillen in de waarde van de diverse parameters

Bij deze gegevens zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen:

- In een stortplaats voor huishoudelijk afval onderscheidt men in het afbraakproces een verzurende en een methanogene fase (zie bijvoorbeeld nr. 35 in de reeks Bodembescherming van VROM, 1984). In de loop van dit afbraakproces vindt een stijging plaats van de pH en een belangrijke daling van de gehalten van een aantal parameters, zoals aangegeven in tabel 3.1. Het meest in het oog springend zijn de dalingen van BZV en in mindere mate van CZV en SO₄²⁻.
- In tegenstelling tot huishoudelijk afval zijn van zuiveringsslib slechts enkele incidentele gegevens beschikbaar. De indruk bestaat echter dat het percolaat van vergelijkbare samenstelling is.
- Veranderingen in het toekomstig afvalstoffenaanbod op een stortlocatie door diverse maatregelen kunnen mogelijk bepaalde parameters minder geschikt doen zijn. Onderzoek hiernaar vindt plaats bij het RIVM.

Ten aanzien van de relatieve geschiktheid als signaalparameters gelden voor de verschillende parameters in huisvuil- en zuiveringsslib-percolaat de volgende overwegingen:

- De zware metalen zijn minder geschikt vanwege hun in het algemeen geringe mobiliteit (als gevolg van adsorptie) en het feit dat ze toch al in erg lage concentraties voorkomen; bij enige verdunning zijn ze nauwelijks meer van de achtergrondconcentratie in de grond (A-waarde) te onderscheiden. Verder is de bepaling relatief duur.

- b. Het meest geschikt lijkt de EC, als afgeleide van stoffen die in alle fasen van de stort in hoge concentraties in het percolaat aanwezig blijven.

Een gunstige omstandigheid is ook dat de EC op zeer eenvoudige wijze direct in het veld met voldoende nauwkeurigheid is te bepalen.

- c. In mindere mate geschikt, maar wellicht toch bruikbaar zijn parameters als CZV, TOC en N (NH_4 ; Kjeldahl). Deze stoffen zouden bijvoorbeeld kunnen worden bepaald in het kader van een "nader onderzoek" wanneer een eerste signalering heeft plaatsgevonden aan de hand van een EC-meting, of daar waar de EC als parameter door lokale omstandigheden niet bruikbaar is.

3.3 Overige afvalstoffen

Voor andere opslag c.q. stort dan voor huisvuil en zuiveringsslib is het weinig zinvol om een overzicht te geven van de samenstelling van het percolaat en wel voornamelijk om de volgende redenen:

- a. Het is zeer moeilijk om een overzicht van alle typen opslag c.q. stort te verkrijgen; veelal zal het om specifieke incidentele gevallen gaan.
- b. Van het percolaat uit verschillende typen opslag en stort zijn betrekkelijk weinig gegevens bekend.
- c. Binnen hoofdgroepen van typen opslag c.q. stort kunnen toevallige factoren in de samenstelling van de te storten stoffen een benadering van parameters op hoofdlijnen onmogelijk maken. Ter illustratie hiervan zijn enige incidentele cijfers betreffende vliegias en kolen vermeld in respectievelijk tabel 3.3 en 3.4.

Tabel 3.3: Samenstelling van water beïnvloed door vliegias (transportwater; water uit asvijvers): PGEM, 1980

parameter	kolen-vliegias USA			vliegias van vuilverbranding		
	I	II	III	PNEM		
pH	7,3-8,4	4,4	8,0	-	-	
EC	$\mu\text{S/cm}$	8,1	2,4	-	-	
Cl	(mg/l)	130	-	-	-	
SO_4	(mg/l)	26.000	360	200	-	
NH_4	(mg/l)	-	-	-	-	
As	($\mu\text{g/l}$)	600-1000	10	30	270-650	
Cd	($\mu\text{g/l}$)	<10	37	1	-	
Cu	($\mu\text{g/l}$)	<100	310	20	-	60
Ni	($\mu\text{g/l}$)	-	1100	50	-	30
Pb	($\mu\text{g/l}$)	<50	60	20	-	<50
Zn	($\mu\text{g/l}$)	700	1500	60	-	30
Mo	($\mu\text{g/l}$)	110.000	-	-	-	12.000

Tabel 3.4: Samenstelling percolatiewater van kolenopslag op 5 locaties bij de PGEM (Heidemij, 1986)

Cl (mg/l)	3,6 - 390
SO ₄ (mg/l)	1320 - 1960
As (µg/l)	0,7 - 1,6
Cd (µg/l)	0,4 - 0,5
Cu (µg/l)	5,9 - 9,8
Ni (µg/l)	4,3 - 15
Pb (µg/l)	1,4 - 5,8
Zn (µg/l)	5 - 14

Uit de tabellen blijkt al direct dat het lang niet altijd eenvoudig zal zijn om geschikte signaalparameters te vinden: bij vlieg-as en kolenopslag worden hoofdzakelijk (zware) metalen vermeld, waarvan de verplaatsing ten opzichte van die van grondwater sterk kan zijn vertraagd als gevolg van adsorptie en precipitatie. Deze vertraging kan, vooral in klei- en organischestofhoudende gronden (ook zandbentoniet lagen), dusdanig sterk zijn dat het jaren of tientallen jaren duurt voordat een bodemlaag van enkele decimeters is gepasseerd; in deze gevallen zijn de zware metalen volkomen onbruikbaar als snelle signaalparameter.

Het is zeer wel mogelijk dat in bepaalde concrete gevallen belangrijke concentraties van conservatieve stoffen in het percolaat aanwezig zijn, die dan als signaalparameters kunnen dienen. Dit zal van geval tot geval dienen te worden vastgesteld via bemonstering van het (boven de bodemafdichting gelegen) opvangsysteem voor percolaat.

4. Verdunning en detecteerbaarheid

4.1 Conservatieve stoffen en EC

Door het toevoegen van percolaat aan "schoon" grondwater zullen voor conservatieve stoffen de gehalten in drainwater (controledrainage) worden verlaagd ten opzichte van die in het percolaat, zoals in het volgende is uitgewerkt.

Voor een bepaalde opgeloste stof geldt:

$$\begin{aligned}
 C_g &= \text{concentratie in "schone grond";} \\
 C_p &= \text{concentratie in het percolaat;} \\
 C_d &= \text{concentratie in het drainagewater.}
 \end{aligned}$$

$$V = \text{verdunningsfactor: één deel percolaat vermengt zich met } V \text{ delen schoon grondwater, tot een hoeveelheid van } V + 1 \text{ deel drainagewater}$$

dan geldt:

$$V \cdot C_g + 1 \cdot C_p = (V + 1) \cdot C_d \quad (1)$$

$$C_d = \frac{V \cdot C_g + C_p}{V + 1} \quad (2)$$

Bij een sterke verdunning met een factor van, bijvoorbeeld, 50 of 100 kan men $V + 1$ benaderen door V , zodat bij benadering geldt:

$$C_d = \frac{V \cdot C_g + C_p}{V} \quad \text{dus:} \quad \frac{C_d}{C_g} = 1 + \frac{C_p}{V \cdot C_g} \quad (3,4)$$

Voor een parameter als EC kan men, volkomen analoog, schrijven:

$$EC_d = \frac{V \cdot EC_g + EC_p}{V} \quad \text{en} \quad \frac{EC_d}{EC_g} = 1 + \frac{EC_p}{V \cdot EC_g} \quad (5,6)$$

De toename van de concentratie respectievelijk EC in het drainage-water ten opzichte van het "schone" grondwater is dan:

$$\frac{C_p}{V \cdot C_g} \quad \text{resp.} \quad \frac{EC_p}{V \cdot EC_g} \quad (7,8)$$

De procentuele toename is:

$$\frac{100 \cdot C_p}{V \cdot C_g} \% \quad \text{resp.} \quad \frac{100 \cdot EC_p}{V \cdot EC_g} \% \quad (9,10)$$

Indien een toename van $x\%$ als minimum wordt gesteld om nog met voldoende betrouwbaarheid tot een ontstane bijmenging met percolaat (dus een lekkage) te kunnen concluderen, dan geldt dat:

$$\frac{100 \cdot C_p}{V \cdot C_g} \geq x\% \quad (11)$$

ofwel:

$$V \leq \frac{100}{X} * \frac{C_p}{C_g} \quad (12)$$

Analoog geldt:

$$V \leq \frac{100}{X} * \frac{EC_p}{EC_g} \quad (13)$$

Voorbeeld: Een stortplaats van huishoudelijk afval

Stel:

EC_g (van het schone grondwater)	=	40 mS/m
EC_p (van het percolaat)	=	600 mS/m
x	=	10 (met andere woorden: een toename van de EC met 10% wordt als voldoende significant beschouwd)

Men berekent $V \leq 150$

ofwel: er mag een verdunning optreden met maximaal een factor 150 om een lekkage in de onderafdichting nog met voldoende betrouwbaarheid te kunnen constateren.

4.2 Milieuvreemde stoffen

Voor een milieuvreemde stof, waarvoor de concentratie in het grondwater (C_g) = 0, geldt (zelfde symbolen als in het voorgaande):

$$C_d = \frac{C_p}{V + 1} \quad (14)$$

bij benadering:

$$C_d = \frac{C_p}{V} \quad (15)$$

Om nu een lekkage te kunnen constateren moet de concentratie in het drainagewater (C_d) minimaal gelijk zijn aan de aantoonbaarheidsgrens C_a

$$C_d \geq C_a \text{ ofwel } \frac{C_p}{V} \geq C_a \quad (16,17)$$

De maximale verdunningsfactor is dus:

$$V \leq \frac{C_p}{C_a} \quad (18)$$

Voorbeeld: Percolatiewater verontreinigd met fenolen

Stel:

$$C_p = 100 \mu\text{g/l}$$

$$C_a \text{ (aantoonbaarheidsgrens)} = 0,5 \mu\text{g/l}$$

Men berekent dan:

$$V \leq 200$$

Ofwel: Om nog een lekkage te kunnen constateren mag de verdunning maximaal een factor 200 bedragen.

In paragraaf 6 van deze bijlage is een berekening van de verdunning opgenomen voor verschillende hoeveelheden lekkage.

Daarbij is zowel het oppervlak van het veronderstelde lek in de bodemafdichting als ook de flux (mm/jaar) variabel genomen.

5. Voorgestelde werkwijze

- a. Voor referentiedoelinden wordt tenminste één afpompbaar peilfilter buiten de stort geplaatst en wel aan de bovenstroomse zijde.
- b. Vóór ingebruikname van de stort worden alle peilfilters en controledrains, bij voorkeur meerdere malen, bemonsterd om de uitgangskwaliteit grondwater vast te leggen.
- c. Voor de vaststelling van geschikte signaalparameters en van de signaleringsmogelijkheden van lekkage in relatie tot verdunningen wordt de samenstelling van het percolatiewater (zoveel mogelijk gedifferentieerd naar compartimenten binnen het stort) gevolgd via regelmatige bemonstering (minstens éénmaal per jaar) van het opvangsysteem voor percolaat.
Bij een stortplaats van huishoudelijk afval dienen in ieder geval te worden bepaald: EC, CZV en Kjeldahl-N.
- d. In Stortbesluit/Uitvoeringsregeling zijn parameters aangegeven voor de "beperkte" controle (1 á 3 keer per jaar) en de "uitgebreide" controle (1 keer per 2 jaar). Daarnaast kan gelden dat geschikte signaalparameters kunnen worden vastgesteld aan de hand van:
 - samenstelling van het "schone" grondwater (via hierboven genoemde punten a. en b.);
 - samenstelling percolatiewater (punt c);
 - aantoonbaarheid in het controle-drainagewater als functie van gehalten in "schoon grondwater", "zuiver percolaat" en van verdunning, volgens de betrekking behandeld in paragraaf 4 van deze bijlage en de modelberekening in paragraaf 6 hierna.

- e. Tenminste éénmaal per jaar moeten de controledrains en peilfilters worden afgepompt en afzonderlijk worden bemonsterd en geanalyseerd op tenminste één geschikte signaalparameter (vastgesteld als aangegeven onder d).
N.B.: EC kan vaak op eenvoudige wijze direct in het veld worden bepaald, met uitzondering van locaties met brak of zout grondwater.
- f. Een eerste signalering van een mogelijke lekkage vindt plaats door vergelijking van de meetuitkomsten:
- tussen de drains onderling;
 - met vroegere metingen aan dezelfde drains;
 - met metingen in de referentiepeilfilters.
- g. Bij gebleken of vermoede lekkage wordt opnieuw bemonsterd voor een "nader onderzoek" waarbij op meerdere parameters wordt geanalyseerd. Aanvullend kan zonodig door het inbrengen van daartoe geschikte apparatuur in de betreffende drain(s) op verschillende plaatsen in de drain een monster worden genomen.

6. Verdunningsberekeningen

Bij het oppompen van water naar drains treedt verdunning op van de geïnfilterde verontreiniging met het aanwezige grondwater. De verdunning (en daarmee de detecteerbaarheid van een lekkage in een afdichting) wordt beïnvloed door de grootte van het lek, de wisseling van de grondwaterstand gedurende het jaar, de stroming van het grondwater en de dikte van het watervoerend pakket (zie ook bijlage 1).

Doordat meerdere factoren een rol spelen is het niet mogelijk om een voor alle locaties geldende overzichtstabel op te stellen. Daarom wordt hierna een eerste raming gegeven van de verdunning die kan optreden als gevolg van de stroming naar een drainagesysteem.

Hierbij worden vier typen "lek" in een stortplaats onderscheiden, waarbij over het lekkend oppervlak de onderafdichting als niet meer aanwezig wordt verondersteld (falend oppervlak):

- lekkage over het gehele oppervlak van de stort;
- lek van 10 * 10 m;
- lek van 10 * 1 m;
- lek van 1 * 1 m.

Van elk van deze vier lekken wordt de verdunning berekend bij een lekflux van 300, 30 en 3 mm per jaar.

De per drain per bemonsteringsronde opgepompte hoeveelheid water (Q) bedraagt (uitgaande van één bemonsteringsronde per jaar):

$$Q = L * s * h * b * O_{pv} \quad (1)$$

waarin:

- Q = opgepompte hoeveelheid water (m³)
 L = drainafstand (m)
 s = drainlengte (m)
 h = grondwaterstandsverlaging bij bemonstering (m)
 b = praktische bergingscoëfficiënt (-)
 O_{pv} = opvangpercentage (%), dat is het percentage ondiep grondwater, gezien op drainniveau, dat afgepompt wordt in de bemalingsperiode

De verdunningsfactor van het emitterende percolaat kan daarna worden berekend met:

$$V_{opw} = \frac{Q}{LEK / f} \quad (2)$$

waarin:

- V_{opw} = verdunningsfactor emitterende percolaatwater (-)
 Q = opgepompte hoeveelheid water (m³)
 LEK = emissie uit lek (m³/j)
 f = bemonsteringsfrequentie (1/j)

Met behulp van bijlage 1 en de formules (1) en (2) is het mogelijk een verdunning van het percolaat te berekenen. Hierbij is een aantal aannames gedaan:

1. De drains hebben een lengte van 250 m;
2. De drainafstand bedraagt 10 m;
3. De bemonsteringsfrequentie bedraagt 1 keer per jaar;
4. De grondwaterstandsverlaging tijdens de bemonstering bedraagt 0,5 m;
5. Het opvangpercentage (dat deel van de bovenste 0,5 m grondwater dat bij iedere ronde wordt afgepompt) bedraagt circa 25% (zie bijlage 1);
6. De praktische bergingscoëfficiënt bedraagt 0,2;
7. De LEK-flux wordt geheel afgevangen;
8. Iedere drain wordt afzonderlijk bemonsterd.

Uitgaande van deze aannames kan voor een aantal situaties de verdunning worden berekend. Het opgepompte volume per drain bedraagt dan:

$$Q = 10 * 250 * 0,5 * 0,2 * 0,25 = 62,5 \text{ m}^3$$

Tabel 3.5: Verdunningsfactor van het emitterende percolaatwater

omvang lek	flux (mm/jaar)		
	3	30	300
hele stort	8	geen	geen
10 * 10 m	208	21	2
10 * 1 m	2080	208	21
1 * 1 m	20800	2080	208

Bij een verdunningsfactor van ruim 200 is een stof die van nature in de bodem voorkomt (bijvoorbeeld chloride) al nauwelijks meer als signaalparameter te gebruiken, omdat de gemeten concentraties slechts gering afwijken van de van nature op een bepaalde locatie voorkomende waarden (met de fluctuatie die daarin voorkomt).

Bij een verdunningsfactor van 2000 is ook een systeem-vreemde stof (zoals bijvoorbeeld benzeen) in veel gevallen niet meer als signaalparameter te gebruiken.

Uit deze berekeningen blijkt, dat het registreren van een lekkage in de onderafdichting van een stort met behulp van een horizontaal drainagesysteem met een drainafstand van 10 m alleen mogelijk is als de afmetingen van het lek aanzienlijk zijn én er een grote lekflux aanwezig is.

Dit betekent, dat in de praktijk een horizontaal drainagesysteem bruikbaar is in situaties zonder bovenafdichting (grote lekflux) en bij grote gebreken in de onderafdichting. In veel andere gevallen (een lekkage treedt pas na verloop van tijd op, de lekkage is zeer lokaal) is de detectiekans zeer gering. Indien een lekkage na verloop van tijd (na 100 jaar) optreedt, dan is bovendien de bedrijfszekerheid van het drainagesysteem fors gereduceerd, tenzij tot vervangen daarvan is overgegaan.

Het verdient aanbeveling om gedurende de afpompperiode (bijvoorbeeld 10 dagen) elke tweede dag een monster te nemen, om zo de verschillen in verblijftijd tussen dicht bij en verder weg van de drains gelegen lekken te ondervangen. De verdunningen die in tabel 3.5 zijn vermeld, geven een onderschatting van de werkelijk optredende verdunning. In de praktijk zal de verdunning groter zijn dan hier is berekend. Dit wordt veroorzaakt door:

1. het uitgangspunt van een stationaire situatie, waardoor verdunning die optreedt bij een niet-stationaire stroming (die optreedt tijdens de 10-daagse afpompperiode) niet wordt meegenomen;
2. de verdunning die gedurende het jaar optreedt door fluctuaties in de grondwaterstand.

De verontreiniging door de stortbodem kan enkele duizenden keren worden verdund. De verdunning is groter naarmate de flux door de stortbodem en het lek kleiner zijn.

Conclusie:

Op grond van het bovenstaande dient de drainafstand van drains in een horizontaal controlesysteem te worden beperkt tot 5 m. De effectiviteit van het systeem dient door modelberekeningen (hydrologisch en verdunning) te worden bepaald voor bruikbare signaalparameter.

Literatuur

- Heidemij Advies BV, in opdracht van Projectbureau Energie-onderzoek: Praktijkonderzoek naar afstromend en percolerend water bij kolenopslag (1986).
- PGEM: Milieu-effectrapport betreffende het storten van het surplus aan vliegas van de elektriciteitscentrale Gelderland te Nijmegen op een aantal locaties.
- H.J. Ehrig: Beitrag zum qualitativen und quantitativen Wasserhaushalt van Mülldeponien. Dissertation Braunschweig, 1978.
- H.J. Ehrig: Aspekte der Verdampfung von Deponiegas. Müll und Abfall 14 (11): 314-320 (1982).
- Heidemij Nederland BV, in opdracht van Hoogheemraadschap Uitm. Sluizen in Kennemerland en West-Friesland: De ontwatering van zuiveringsslib in lagunen (1977).
- Ministerie van VROM/Heidemij Advies BV: Opvang en behandeling van percolatiewater van afvalstortterreinen. Nr. 35 in de Reeks Bodembescherming (1984).

BIJLAGE 4**Ontwerpaspecten van een percolaat-drainagesysteem**

1. Inleiding

In nr. 35 van de reeks Bodembescherming (lit. [3]) is een overzicht gegeven van de ontwerpaspecten van drainagesystemen voor de opvang van percolaat. Tevens zijn daarin voorlopige aanbevelingen vervat, gebaseerd op toen (1983) bekende inzichten en ervaringen, voor een groot deel uit Duitsland.

Intussen is in Nederland enige ervaring opgedaan met ontwerp en aanleg van afvalstortplaatsen en andere gedraineerde bergbassins. In Duitsland zijn intussen nieuwe richtlijnen verschenen (Laga, 1984). Verder zijn in Duitsland een aantal slecht of niet meer functionerende afvalstort-drainagesystemen geanalyseerd.

In 1991 is in Duitsland de bundel "Technische Anleitung (Sonder)-Abfall" van kracht geworden, waarin ondermeer richtlijnen voor stortterreinen (voor chemisch afval) zijn opgenomen. Een overeenkomstige richtlijn voor huishoudelijk afval is in voorbereiding.

In het hiernavolgende zal een overzicht gegeven worden van ontwerpaspecten naar de huidige stand van inzichten en ervaring. Hierbij dient echter te worden vastgesteld dat ook de nu bekende ervaring nog niet volledig is en dat er nog een aantal onzekerheden overblijven. Met name het lange termijn-gedrag van drainagebuizen en de mate waarin drains en drainomhullingsmateriaal verstopt raken door afzetting van stoffen (micro-organismen, oxidatie) is nog steeds onderwerp van onderzoek en studie.

2. Uitgangspunten voor het ontwerp

De hoofdelementen van een drainagesysteem zijn:

- een onderafdichting (in het algemeen aan de bovenzijde begrensd door een hdpe-folie) op de geëgaliseerde ondergrond;
- een draineer/bescherm laag van goed doorlatend zand, aangebracht op de afdichting;
- onderling evenwijdige drainbuizen ("zuigdrains") aangebracht op een dunne zandlaag op de afdichting, opgesloten door een geschikte drainagekoffer;
- koppeldrains waarop de drains worden aangesloten en die het percolaat afvoeren naar het lozingspunt van een stortvak.

De uitgangspunten voor de verdere invulling van het ontwerp zijn:

- a. Hydrologische eis: de waterstand mag (afgezien van korte perioden in de orde van een paar dagen) niet tot in het afval reiken;
- b. Het ontwerp dient zoveel mogelijk waarborgen te bieden voor een blijvend goed functioneren van het systeem hetgeen hoofdzakelijk neerkomt op voorzieningen tegen falen door:
 - mechanische belasting;
 - chemische aantasting;
 - verstopping door stoffen die met het drainagewater uit het afval aangevoerd worden.
- c. Controle en onderhoud van het systeem dient mogelijk te zijn.

3. Uitwerking hydrologische eis

De hydrologische eis "Waterstand niet tot in het afval" is vrij uitgebreid behandeld in nr. 35 van de reeks Bodembescherming. De hydrologische uitwerking voor een regenwateroverschot van 300 à 400 mm/jaar leidt tot de volgende combinatie van ontwerpvariabelen:

- zandbed met een dikte van minimaal 0,40 m, waarvan het zand voldoet aan de eisen van Rijkswaterstaat voor "draineerzand" (RWS 1978, § 1.1). Om beschadigen van de hdpe-folie met zekerheid te voorkomen wordt afzeven van het zand op een maximale korreldiameter van 3 mm sterk aanbevolen. Geschatte doorlatendheid minimaal 4 m/etmaal.
- Voor bescherming van de afdichting wordt de zanddikte aangepast naar 0,50 m;
- afstand tussen de zuigdrains maximaal 40 m;
 - bij een maximale lengte van 300 m en een helling van 0,1% heeft een drainbuis met een binnendiameter van 50 mm nog voldoende capaciteit;
 - de verzamelleidingen kunnen ontworpen worden voor een afvoercoëfficiënt van 4 mm per etmaal.

In de praktijk zullen echter aanzienlijk strengere ontwerpnormen dienen te worden gehanteerd om te voldoen aan de andere genoemde uitgangspunten, die neerkomen op:

- bescherming tegen mogelijke nadelige invloeden;
- mogelijkheden voor controle en onderhoud;
- extra zekerheid in verband met eventueel permanent uitvallen van één of meer drains. Herstel of vervanging van zuigdrains - die zich onder een dikke laag afval bevinden - is in de praktijk vrijwel uitgesloten.

Een en ander zal in het volgende nader worden uitgewerkt.

4. Bestendigheid drains tegen mechanische belasting

In tegenstelling tot landbouwkundige toepassing (geringe draandiepte) zijn voor toepassing binnen afvalstortplaatsen (veel grotere belastingen) nog geen normen ontwikkeld.

Wel zijn reeds enige oriënterende berekeningen gepubliceerd voor de wijze van berekening van sterkte voor gesleufde hdpe-buizen. Hierbij werd op basis van een groot aantal onzekerheden in de korte en lange termijn van de belastingssituatie aanbevolen als extra veiligheid in de berekening de opleghoek te kiezen op 90° in plaats van de bij buisberekeningen gebruikelijke hoek van 120°, (bij aanleggen wel een oplegging van 120° realiseren), naast de gegeven benadering voor het berekenen van de verzwakking van de buis als gevolg van het sleuven. Ook voor de mogelijkheid van hogere temperatuur (circa 30° C) dan bij toepassing in de bodem kan een coëfficiënt worden bepaald.

In Duitsland is in enkele gevallen bij keramische buizen breuk geconstateerd; van pvc (ribbel)buizen en hdpe-(gesleufde)buizen zijn tot nu toe geen gevallen van schade (platdrukken) bekend geworden. Waarschijnlijk wordt deformatie van de buis voldoende tegengegaan door de inbedding in zand en de grindomhulling.

De voorlopige conclusie voor het praktische ontwerp is:

- geen keramische of betonbuizen toepassen;
- gebruik van resistente kunststof (hdpe of polypropyleen) buizen met een omhulling van grind: dikte grindlaag minimaal (gelijk aan de zandlaag) 0,50 m; buizen inbedden in een zandlaag, dik minimaal onder de buis 0,05 à 0,15 m;
- buisklasse minimaal B (0,6 MPa), hoge dichtheid; bij grote belastingen klasse C (1,0 MPa) bij extreme belastingen profielversterkte buis;
- buisdiameter minimaal 110 mm voor drains, minimaal 160 mm voor koppeldrains; sleufbreedte 5 à 6 mm.

In bijlage 6 is nader ingegaan op de buisberekeningen en de eisen voor oplegging/inbedding van de drainbuizen.

5. Bestendigheid tegen chemische aantasting

PVC kan aangetast worden door organische verbindingen als:

- gechloreerde en aromatische koolwaterstoffen;
- fenolen, ethers, esters, ketonen.

Deze verbindingen kunnen in principe, waarschijnlijk in kleine concentraties, in huishoudelijk afval voorkomen.

Voor bestendigheid op lange termijn dient de voorkeur gegeven te worden aan HDPE in gesleufde uitvoering.

6. Verstoppingen van buizen en omhullingsmateriaal

6.1 Oorzaken van verstopping

Stoffen die verstopping kunnen teweegbrengen zijn:

- a. bodemdeeltjes die mechanisch met het drainwater zijn meegevoerd;
- b. slijm e.d., resulterend uit bacteriële omzettingen;
- c. anorganische neerslagen van voornamelijk Ca en Fe-verbindingen.

Verstoppingen door bodemdeeltjes zijn in het algemeen te vermijden door toepassing van daartoe geschikte omhullingsmaterialen en in acht nemen van de filtercriteria (bijvoorbeeld de Terzaghi-regels).

Verstoppingen genoemd onder b) en c) van zowel buizen als omhullingsmateriaal bleken in Duitsland echter de voornaamste oorzaak van slecht-of niet functionerende drainsystemen te zijn. Te strakke toepassing van het principe van de filterwerking leidt tot het versneld optreden van verstopping door een combinatie van de oorzaken, en blijkt dus averechts te werken. Omhullingsmaterialen (geotextielen, PP-vezels) dienen om die redenen niet te worden toegepast.

6.2 Ontwerpparameters

De genoemde risico's leiden tot de hieronder genoemde consequenties voor het drainage-ontwerp.

6.2.1 Het vermijden van omstandigheden die ontstaan van verstoppingen bevorderen

De belangrijkste maatregel in dit verband is het verhinderen van luchttoetreding in de buis door een waterslot-constructie (tegengaan oxidatie) bij de uitmonding in het afvoersysteem.

Uit Duitse onderzoeken bleek deze maatregel niet volledig afdoende: ook andere factoren, zoals pH, temperatuur, CO₂-concentratie, spelen een rol bij het ontstaan van afzettingen. Deze factoren zijn bij huisvuil-stortplaatsen met een hoog gehalte organische stoffen moeilijk te beïnvloeden. Zeker wanneer ook gasonttrekking in het percolaatdrainagesysteem wordt toegepast, is het plaatsen van luchtdichte tussendeckels in inspectieschachten eveneens noodzakelijk. De doorspuitinrichtingen dienen afgesloten te worden met luchtdichte kappen.

6.2.2 Regelmatig schoonmaken van de drains (doorspuiten)

Hiertoe dient het systeem doorspuitbaar te zijn, hetgeen inhoudt:

- zuigdrains recht (althans geen knikken of scherpe bochten);
- zuigdrains aan weerszijden toegankelijk vanaf de uitmonding in de verzameldrain via een aansluitput of via een doorspuitinrichting. Een en ander mag niet onmogelijk gemaakt worden door een waterslotconstructie; dit constructie-element bij voorkeur opnemen buiten het stortvak nabij de aansluiting aan de afvoerleiding langs het stort;
- verzameldrains en afvoerleidingen recht, althans tussen twee opeenvolgende inspectieputten.

6.2.3 Reserve-afvoercapaciteit in verband met afzettingen

Door afzettingen in buizen en zandbed kan een deel van de onttrekkings- en afvoercapaciteit verloren gaan. Ter compensatie wordt aanbevolen: minimum-buisdiameter hdpe-110 mm uitwendig voor zuigdrain, minimaal 160 mm voor koppeldrains.

De inwendige maat wordt bepaald door de buisklasse. Voor de toepassing als percolaatdrain is minimaal klasse B vereist (zie par. 4 hiervoor en bijlage 6). Voor camera-inspectie is een minimale binnendiameter van 130 mm vereist.

Voor het zandbed betekent dit het opvoeren van de doorlatendheidsnorm naar 10 m/etmaal. De afvoercoëfficiënt dient te worden verhoogd tot tenminste 8 mm/etmaal. De drainafstand kan op deze gronden worden bepaald op maximaal 15 m.

6.2.4 Ruim bemeten gladde perforaties in de drain

Minimum wijdte 4 mm. De maximum-wijdte wordt bij polypropyleen bepaald door de ribbelafmetingen van de buis en is verder gerelateerd aan de korrelgrootte van het omhullende grind.

Een veilige norm hierbij is een perforatiebreedte $\leq 1/2 D85$, waarbij D85 de zeefmaat is waardoor 85% van het grind passeert.

Bij gesleufde hdpe-drains gaat de voorkeur uit naar een sleufbreedte van 5 of 6 mm, waarop vervolgens de minimumafmeting van het grind wordt aangepast ($D_{\min} \geq 8$ mm). Deze keuze is gebaseerd op het toepassen van een zeer open drainsysteem met een zeer geringe filterwerking.

6.2.5 Grof omhullingsmateriaal rond de drain

Normaal gesproken wordt de korrelverdeling van de drainomhulling (in dit geval grind) bepaald door de korrelverdeling van het omringende materiaal (in dit geval het zandbed) volgens de filterregels van Terzaghi.

Uitgaande van draineerzand volgens Eisen RWS zou men komen tot grind in de orde van de handelsmaat 2-6 mm.

In verband met het verstoppingsgevaar is aanzienlijk grover materiaal wenselijk. Ten aanzien van de kwantificering lopen de meningen van diverse auteurs sterk uiteen.

Voorgesteld wordt bij gesleufde hdpe-buis de handelsmaat 8-32 of 8-16 te gebruiken volgens eisen Rijkswaterstaat (RWS 1978, §3.8). Desgewenst kan ook 16-32 mm worden overwogen, naar keuze omringd door grind 4-16 mm.

Ook voor het zandbed is het om dezelfde reden wenselijk om grof materiaal te gebruiken. Voorgesteld wordt:

- Draineerzand volgens eisen Rijkswaterstaat met een maximum korreldiameter van 5 mm, bij voorkeur maximaal 3 mm (bescherming hdpe-folie van onderafdichting).

Meer recent zijn ter nadere omschrijving van het drainagezand en in aanvulling op de "Eisen Rijkswaterstaat" de volgende bepalingen gebruikt:

- laag kalkgehalte;
- afzeven op maximale korrelgrootte van 3 mm indien dat zand in contact komt met hdpe-folie (geldt ook voor ophoogzand bijvoorbeeld in kade direct onder een hdpe-folie);
- korrelafmeting bij voorkeur:
 - fractie > 250 micron: minimaal 70%;
 - fractie > 500 micron: minimaal 35%.

Hierbij dient bedacht te worden dat het veiliger is om inspoelen van een zekere hoeveelheid fijne deeltjes in de drains te accepteren (die door reinigen kunnen worden verwijderd) dan door dichttrekken van "filters" problemen met de percolaatafvoer te riskeren. De "filterregels" dienen daarom als secundair instrument te worden gehanteerd.

6.3 Filterregels

Indien op basis van de afvalsamenstelling geen groot risico voor verontreiniging van drains door afzetting wordt verwacht, kan mogelijk de eis tot een zeer grove omhulling vervallen en een ontwerp volgens de filterregels worden toegepast.

De samenstelling van het toekomstig aanbod op stortterreinen voor huishoudelijk afval en vergelijkbare stoffen (met laag gehalte organische stoffen) is nog onderwerp van studie (RIVM).

Bij toepassen van zand voor een zandbed dienen zandbed en grindomhulling ten opzichte van elkaar te voldoen aan de filterregels van Terzaghi, die nu echter in omgekeerde zin werken.

Uitgaande van de korrelverdeling van het grind moet nu het zand een minimale "grofheid" hebben; wanneer het daaraan niet voldoet, kan een "tussenlaag" (bijvoorbeeld 2 - 8 mm) worden aangebracht, zodat men een filter-opbouw krijgt die weer wel aan de criteria voldoet.

Ter verduidelijking zullen de filterregels in het volgende nader worden geïllustreerd voor een grindkeus 4 - 32 mm.

6.3.1 Basisgegevens zand en grind

Allereerst een en ander over de notatie:

- d₈₅; d₅₀ etc.: de korreldiameter waarbij 85, respectievelijk 50% van de totale massa kleiner is dan de aangegeven maat.

Bijvoorbeeld: d₈₅ = 3 mm wil zeggen dat 85% van de massa kleiner is dan 3 mm ofwel: passeert door een zeef met een maaswijdte van 3 mm.

De eisen van Rijkswaterstaat voor grind 4/32 en voor draineerzand luiden:

a: grind 4/32

korrelgrootte (mm):	< 31,5	< 16	< 8	< 4
massa-percentages:				
* minimaal	99	38	15	(0)
* maximaal	(100)	90	70	10

b: draineerzand: eisen aan materiaal met deeltjes ≤ 2 mm

- gloeiverlies (gecorrigeerd voor CaCO ₃):	≤ 3%	
- korrelgrootte (micron)	< 63	< 250
maximaal massa-percentages	5%	50%

Toelichting:

het gehalte aan deeltjes > 2 mm wordt in principe vrijgelaten. In de voorgestelde richtlijn voor percolaat drainage wordt een maximum deeltjesgrootte gesteld van 5 mm, en afzeven op 3 mm sterk aanbevolen bij contact met hdpe-folie. Tussen dit maximum en de in de RWS-eisen gestelde minimumafmeting en maximum massapercentages blijven echter vele mogelijkheden open (zie ook par. 6.2.5 hiervoor).

De gestelde korrelgrootte-verdelingen zijn grafisch worden weergegeven in figuur 4.1.

Voor grind 4/32 kan zowel een boven- als benedengrens worden aangegeven; voor draineerzand geldt alleen een benedengrens.

6.3.2 Toepassing filterregels

De filterregels van Terzaghi luiden:

1. $D_{15} \leq 5 d_{85}$
2. $D_{15} \leq 20 d_{15}$
3. $D_{50} \leq 25 d_{50}$

Hierin staat D voor korreldiameter van het filter (in dit geval het grind); d voor korreldiameter van het basismateriaal (in dit geval het zand).

Om de consequenties van toepassing van de Terzaghi-regels te illustreren zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

- vereiste korrelsamenstelling zandbed (ondergrens) bij toepassing van grind 4/32 als omhulling van de drain. Dit is gedaan zowel voor de ondergrens ("fijne zijde") als voor de bovengrens ("grove zijde") van het betreffende grind;
- vereiste korrelsamenstelling filtergrind (bovengrens) indien uitgegaan wordt van de ondergrens (fijne zijde) van draineerzand volgens Eisen RWS.

De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.1 en gedeeltelijk ook in figuur 4.1. Tevens zijn in tabel 4.1 ter vergelijking de korrelverdelingen aangegeven van:

- grind 4/32 (onder en bovengrens);
- draineerzand volgens RWS (alleen ondergrens is hier van toepassing);
- grind 2/6 volgens eisen RWS (RWS 1978, § 5.8).

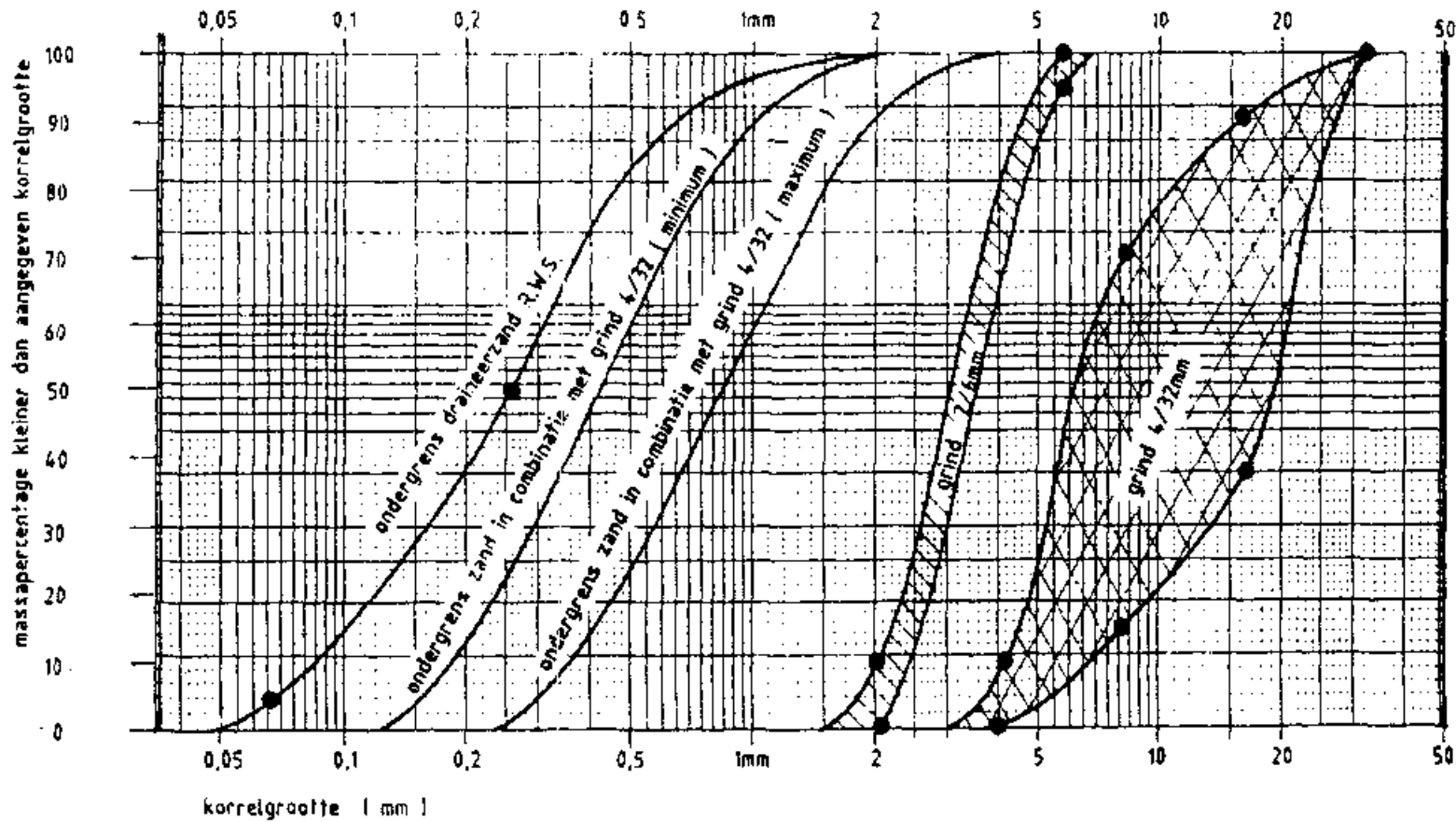
In de tabel zijn de voor de filterregels relevante kengetallen aangegeven. Verschillende cijfers zijn benaderingen aangezien hier en daar extrapoleren nodig was.

Het voorgaande leidt tot de volgende conclusies:

- 1° Zand dat gebruikt kan worden voor het zandbed in rechtstreekse combinatie met grind 4/32 valt binnen de gestelde eisen voor "draineerzand". Omgekeerd is het echter niet zo dat alle "draineerzand RWS" in rechtstreekse combinatie met grind 4/32 gebruikt kan worden (vergelijk in tabel 4.1 de kolommen 3 en 4 met 5).
- 2° Voor ieder concreet praktijk-geval kan een geschikte zand-filtergrind combinatie ontworpen worden op grond van een korrelgrootte-analyse van zowel zand als grind en toepassing van de Terzaghi-regels.

verklaring:

● in eisen R.W.S. vastgelegde punten



Figuur 4.1 Korrelgrootte-verdeling van zand en grind volgens eisen Rijkswaterstaat

Tabel 4.1 Berekeningsresultaten korrelverdelingen

	grind 4/32		zandbed voor grind 4/32		draineerzand RWS	filter voor draineerzand	grind 2/6	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
D85 c.q. d85	12,5	25	≥0,85	≥1,60	≥0,50	-	4,5	5
D50 c.q. d50	6	19	≥0,25	≥0,75	≥0,25	≈6,25	3	3,5
D15 c.q. d15	4,3	8	≥0,20	≥0,40	≥0,10	≈2,50	2,2	2,5
Kolom nr.	1	2	3	4	5	6	7	8

3° Wanneer "grind 2/6 mm" wordt toegepast als tussenlaag tussen "grind 4/32 mm" als drainomhulling enerzijds en "draineerzand" als zandbed anderzijds dan wordt in alle gevallen automatisch dan de Terzaghi-filtercriteria voldaan, indien genoemde materialen voldoen aan de eisen Rijkswaterstaat.

Dit blijkt uit:

- vergelijking kolom 6 in tabel 4.1 met kolommen 7 en 8 (voor de combinatie draineerzand-grind 2/6);
- vergelijking kolom 4 met kolom 7 (de "fijnst" mogelijke samenstelling van grind 2/6 kan nog gebruikt worden met de "grootst" mogelijke samenstelling van grind 4/32).

7 Percolaatonttrekkingsvoorzieningen in het afvallichaam

Vaak wordt gevreesd of geconstateerd (bijvoorbeeld in gasonttrekkingsfilters) dat "ergens" in de afvalmassa percolerend water stagneert op slecht of niet doorlatende lagen, gevormd door bijvoorbeeld slib, horizontale lagen kunststoffen of sterk verdichte, slecht doorlatende stoffen (schijnspiegels en/of stagnatie).

Om stagnatie te voorkomen wordt in Duitse richtlijnen aanbevolen om "verticale drains" te maken: doorlopende verticale kolommen met een diameter van 2-3 m, uitsluitend bestaande uit goed doorlatend materiaal, zoals puin, oude autobanden e.d., op onderlinge afstanden van circa 50 m en aan de onderzijde aansluitend op drains of de drainerende zandlaag.

Ten aanzien van de praktische uitvoerbaarheid en het gedrag op lange termijn is er echter aanleiding tot twijfel, reden waarom er tot nu toe van is afgezien om dit in een richtlijn op te nemen.

Aanbevolen wordt daarom dergelijke "drainerende" verticale voorzieningen niet met het stort mee op te bouwen, doch eerst maatregelen te treffen indien zich problemen voordoen.

Vochtophoping kan merkbaar worden door zeer instabiel gedrag van onderliggend afval bij het stortbedrijf of door horizontaal uittreden van percolaat in taluds, alsmede in horizontale of verticale gasonttrekkingsdrains.

Overwogen kan worden om in geval van het in aanzienlijke mate optreden van stagnerend percolaat als goedkope oplossing een aantal eenvoudige gesleufde hdpe-buizen door een boring in het afval te plaatsen. Zonodig dienen in taluds stabiliserende maatregelen te worden getroffen tegen de gevolgen van horizontaal uittreden. Aanbevolen wordt de bodem van deze verticale buizen dicht uit te voeren om de buizen enige stuit te geven.

De onderzijde dient op minimaal 1 m boven de hdpe-folie te liggen om risico voor de folie te vermijden.

De buizen dienen voorafgaand aan het aanbrengen van de bovenafdichting verwijderd te worden om beschadiging daarvan te voorkomen bij klink van het afval, danwel in voldoende mate te worden ingekort. Wanneer het afval methaangas produceert zullen deze buizen mogelijk gas uit het stort transporteren. In dat geval dient de bovenste circa 2 m lengte van een buis ongeperforeerd te worden uitgevoerd en een afsluitende kap te worden geplaatst; ook kunnen de buizen in een gasonttrekkingssysteem worden opgenomen.

Een dergelijk systeem van gesleufde buizen is overigens ook bruikbaar in de opbouwfase van een stort om percolaat te recirculeren in het afval. Daarbij dient een variatie in de lengte van de buizen te worden toegepast om het percolaat doelgericht op verschillende niveaus tot het afval te laten toetreden. Indien hierbij het zo optimaal mogelijk bevochtigen van de organische bestanddelen als uitgangspunt is genomen (stabiele gasontwikkeling) dient de onderzijde van de buizen bij voorkeur op 2 m boven de onderafdichting te liggen om te snel uitstromen van percolaat tegen te gaan. De buizen zullen bij deze toepassing dus met name dienst doen gedurende de opbouwperiode van een stort(vak) en de wachtperiode tot aanbrengen van de bovenafdichting.

BIJLAGE 5

**Aanwijzingen voor geohydrologische
modelberekeningen**

Geohydrologische modelberekeningen

Inleiding

Modelberekeningen vergroten het inzicht in het hydrologische systeem vóór en na het aanleggen van een stort en maken het mogelijk controlesystemen te ontwerpen.

De voorwaarden voor het toepassen van modelberekeningen (en modellen) worden hierna aangegeven. Daarbij gaat het enerzijds om modelspecificaties (invoer- en rekenmogelijkheden) en anderzijds om minimumeisen voor het resultaat van de berekeningen.

Modelspecificaties

Het model (of de set van modellen) moet voldoen aan de volgende specificaties:

- 1-dimensionaal: zone tussen stortzool en GHG;
- 3-dimensionaal: stromingsberekeningen in de verzadigde zone, inclusief de berekening van stroomlijnen;
- stationair;
- een niet-homogene, anisotrope bodemopbouw moet kunnen worden ingevoerd;
- het regionale hydrologische systeem moet kunnen worden ingebracht;
- onttrekkingspunten moeten zowel volkomen als onvolkomen kunnen zijn;
- mogelijkheid moet aanwezig zijn tot het koppelen/berekenen van
 - dispersie;
 - diffusie;
 - chemische reacties.

Berekeningen

De berekeningen moeten worden uitgevoerd voor de uitgangssituatie (nul-situatie) en voor de stort- en nazorgsituatie. De berekeningen moeten de volgende resultaten opleveren:

- uitgangssituatie:
 - stijghoogte uitgangssituatie;
 - gevoeligheidsanalyse bodemparameters;
 - GHG en GLG;
 - het model moet in de uitgangssituatie worden gecalibreerd, zodat een betrouwbaar instrument ontstaat voor effectberekeningen.
- stort- en nazorgsituatie:
 - stijghoogtes onder stort;
 - stroomsnelheid;
 - ontwerp horizontaal controlesysteem;
 - locatiekeus verticale filters met bemalingsregime en meetfrequentie;
 - gevoeligheidsanalyse met betrekking tot flux, dispersie en diffusie;
 - voor een aantal vormen van lekoppervlak en lekflux het verspreidingsbeeld, isolatie en beheersmaatregel.

Het bepalen van het model en met name het calibreren daarvan zullen bij een drie-dimensionale rekenmethode de meeste inspanning vragen. Hiervoor zijn voldoende gegevens en voldoende tijd noodzakelijk.

BIJLAGE 6**Sterkteberekeningen van percolaatdrains**

STERKTEBEREKENING VAN PERCOLAATDRAINS

1. Inleiding

In deze bijlage worden uitgangspunten en dimensioneringsmethoden beschreven voor het toepassen van HDPE-percolaat-drainagesystemen in afvallichamen. De situering en omhulling van percolaatdrainagebuizen met de bijbehorende technische en mechanische parameters worden belicht. Aangezien voor een aantal onderdelen in de berekening rekenwaarden moeten worden geschat, zijn waar nodig aanwijzingen opgenomen. Als advies voor materiaalnormen en toe te passen parameters geldt de vet (onderstreepte) tekst.

Met de tussen haakjes geplaatste cijfers wordt verwezen naar de literatuurlijst.

2. Dimensionering drainagebuis

2.1 Huidige situatie

In de Nederlandse situatie worden in een aantal gevallen voor bijzondere uitvoeringen van buizen berekeningsmethoden toegepast, waarvan de juistheid niet zeker is, en waarvan het resultaat hooguit kan worden beoordeeld als redelijk waarschijnlijk. Bij HDPE-drains wordt er op basis van ervaring met andere buisuitvoeringen een keus gemaakt voor de toe te passen drainagebuis

De tot nu toe meest geschikte berekeningsmethode voor HDPE-drains is ontwikkeld in Duitsland en is daar veelvuldig toegepast. Deze berekeningsmethode is weergegeven in de ATV 127 (1) "Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskäneln und -leitungen". Aansluitend zijn ontwikkeld de DIN-normen 19667 "Dränung von Deponien" (2), 4266 "Sickerrohre für Deponien" (3) en 19537 "Rohre und Formstücke aus Polyethylen hoher Dichte für Abwasserkanäle und -leitungen" (4).

Statische berekening volgens de standaardmethode van de ATV 127 heeft de volgende nadelen/onzuiverheden:

- a. De spanning wordt slechts op 4 punten van de buis uitgerekend, namelijk de voet, as-zijkanten en de top. Bij elastische HDPE-buizen bevindt zich het kritieke punt waar maximale spanning optreedt niet op één van deze 4 punten, maar ter plaatse van de overgang van het oplegmateriaal (zand) naar het omhullingsmateriaal (grind). Dit is onder een hoek van -30° met de horizontaal.
Voorts is het berekenen van spanningen en vervormingen rond de gehele buisomtrek belangrijk bij elastische buizen;
- b. Voor het oplegmateriaal kan slechts één elasticiteitsmodulus (Emod) worden ingevoerd. De oplegging bestaat praktisch gezien altijd uit een stapeling van diverse materialen en grondlagen, bijvoorbeeld zand, zandbentoniet, klei en veen. De soort oplegging/ondergrond heeft veel invloed op de resultaten van de dimensioneringsberekening.
Het is daarom van belang om de verschillende Emod-waarden van de grondlagen in te kunnen voeren en niet één geschatte gecombineerde waarde voor de elasticiteitsmodulus;
- c. Het verloop van grondspanningen en de wisselwerking tussen grond- en buisspanningen wordt niet duidelijk gemaakt;

- d. De berekening kan alleen uitgevoerd worden voor volwandige gladde buizen. Een profielversterkte (drainage-)buis kan niet worden berekend;
- e. Er zijn een aantal aannames gedaan en veiligheidsfactoren ingebouwd vanwege de onbekendheid en onzekerheid over diverse rekenparameters.

Aan de cijfermatige resultaten van een ATV-berekening moet niet al te veel waarde worden gehecht. Men verkrijgt een indicatie of de berekende buis zal voldoen.

Een eenvoudig hanteerbaar programma dat gebaseerd is op de ATV 127 is "DEPOROHR.EXE" (5) van R. Schicketanz. De ATV 127 is in principe opgesteld voor statische berekening van stijve (beton)buizen en niet voor de berekening van elastische HDPE-buizen. Het programma DEPOROHR bevat een aantal aanpassingen gericht op elastische buis en openingen in de buiswand. Ook in dit programma zijn een aantal aannames gedaan en veiligheidsfactoren ingebouwd vanwege onbekendheid en onzekerheid over diverse parameters.

2.2 *Voorstel berekeningswijze voor gladde HDPE-drainbuizen*

Gezien het indicatieve karakter van een ATV-berekening is een meer nauwkeurige dimensionering vereist. De beste beschikbare methode daarvoor is de "eindige elementenberekening". Daarmee worden het werkelijk spannings- en vervormingsverloop van de gehele buis en de werkelijk optredende grondspanningen berekend. Dit kan grafisch gepresenteerd worden, zodat een totaal overzicht wordt verkregen. De nadelen, zoals genoemd bij de ATV-berekening, zijn voor een eindige elementenberekening niet van toepassing.

Een nauwkeurige elementenmethode-berekening heeft echter alleen zin als de in te voeren parameters nauwkeurig bekend zijn. Juist op dit punt is nog een gebrek aan zekerheid. Nader onderzoek is daarom nodig.

Resumerend ontstaat, gezien de huidige stand van zaken, het volgende **dimensioneringsvoorstel**:

- a. **normale stortsituaties**: dimensionering volgens een aangepaste **ATV 127**-berekening, bijvoorbeeld met het programma **DEPOROHR.EXE**;
- b. **niet gangbare, kritische situaties**: dimensionering met behulp van een **eindige elementenberekening**, met een zo nauwkeurig mogelijke inschatting van de parameters voor die betreffende situatie (bijvoorbeeld zeer grote storthoogten);
- c. **na nader onderzoek**: exacte bepaling van invoerparameters en dimensionering met behulp van **eindige elementenmethode**, wat kan leiden tot een selectietabel met daarin de toepassing van verschillende buisklassen bij bepaalde belastingsituaties. Voor alle gangbare gevallen kan dan van de tabel gebruik worden gemaakt. In uitzonderlijke situaties kan een afzonderlijke berekening gemaakt worden.

3. Parameters uit HDPE-buis- en materiaaleigenschappen

Bij de dimensionering van drainagebuizen dient een korte en lange duurbeschouwing te worden uitgevoerd. Bij de korte duurbeschouwing is de verkeersbelasting belangrijk. De eerste lagen afval dienen met zorg te worden aangebracht, zodat de drains niet verschuiven. Bij de lange duurbeschouwing, dat wil zeggen na 50 jaar, is de verandering van materiaaleigenschappen/parameters van HDPE bepalend. De lange duur beschouwing is vrijwel altijd maatgevend.

Advies: lange duur beschouwing: (50 jaar), uitvoeren.

Naast dit algemene uitgangspunt worden hierna specifieke parameters kort behandeld.

● HDPE-grondstof:

De PE-HD grondstoffen die voor de vervaardiging van de buizen worden gebruikt, moeten met roet (carbonblack) zijn gestabiliseerd. Aan het materiaal mogen verder uitsluitend anti-oxydanten en UV-stabilisatoren zijn toegevoegd in hoeveelheden die voor de vervaardiging en toepassing van de buizen noodzakelijk zijn. De toegevoegde stoffen moeten gelijkmatig over het PE-materiaal zijn verdeeld. Eisen voor de PE-HD grondstof zijn onder andere:

- roetgehalte max. 2,5% gelijkmatig verdeeld;
 - thermische stabiliteit > 20 min;
 - vochtgehalte < 300 mg/kg;
 - vluchtige bestanddelen inclusief water < 350 mg/kg;
 - gemeten waarde smeltindex MFI mag niet meer dan 30% afwijken van opgegeven waarde.
- MFI 190/5 < 1.5 g/10 min., gemiddeld circa 0.40 à 0.80 g/10 min.

Voor aanvullende informatie wordt verwezen naar de beoordelingsrichtlijn van het KIWA, BRL-K 533/01 (6).

● HDPE-kwaliteit:

De eigenschappen van HDPE worden voornamelijk bepaald door dichtheid, molecuulmassa en molecuulmassaverdeling. Met toenemende dichtheid (hogere kristalliniteit) neemt onder andere toe de:

- toelaatbare spanning;
- elasticiteitsmodulus;
- hardheid;

De spanningscorrosiegevoeligheid of milieubrosheid neemt bij hogere dichtheid af.

● Dichtheid:

De dichtheid van HDPE varieert bij 23°C van 0.93 tot 0.96 gram/cm³. Zoals bij het onderdeel HDPE-kwaliteit vermeld heeft een hogere dichtheid bepaalde voordelen.

Advies: dichtheidseis voor HDPE > 0.930 g/cm³.

(zie onder andere BRL-K 533/01 (6)).

Indien hogere eisen worden gesteld aan de mechanische parameters van de HDPE, zoals bijvoorbeeld de eis tot een hogere toelaatbare buigspanning, dient tevens een hogere dichtheid te worden voorgeschreven bijvoorbeeld:

dichtheid HDPE > 0.947 g/cm³, zie DIN 4266 (3).

Zie voor relatie dichtheid met buisklasse/toelaatbare buigspanning onderdeel buigspanning hierna.

- **Temperatuur:**

De temperatuur heeft grote invloed op de E-modulus en de toelaatbare buigspanning, vooral op lange duur. De temperatuur in een stort zal kunnen oplopen tot circa 40°C, waarna deze weer afneemt tot 25 à 30°C. Een gemiddelde temperatuur die over vijftig jaar optreedt zal ongeveer 30°C bedragen.

Advies: reken-storttemperatuur T = 30°C.

- **E-modulus:**

De elasticiteitsmodulus wordt afzonderlijk beschouwd voor de korte en lange duur. Bij een standaardtemperatuur van 20°C geldt:

- Emod kort = 800 N/mm²;
- Emod lang = 150 à 200 N/mm².

De minimale waarde en dus uitgangspunt is 150 N/mm². In plaats van de basis E-modulus van 150 N/mm² kan ook een hogere waarde gebruikt worden. In dat geval moet er beschikt kunnen worden over realistische gegevens, welke zijn verkregen door testen die uitgevoerd dienen te worden op het materiaal tijdens verblijf in een stortlichaam.

Ten gevolge van de temperatuurverhoging naar 30°C dient een reductiefactor A3, volgens DIN 4266 (3), voor de Emod lange duur in rekening te worden gebracht van 0.85. Daarnaast geldt voor het materiaal HDPE als zodanig een reductiefactor A2 = 0.9.

Advies: Emod lange duur bij T = 30°C: 150 x 0.90 x 0.85 ≥ 115 N/mm².

Advies: De Emod korte duur T = 30°C bedraagt 600 N/mm².

Indien aangetoond wordt dat de Emod lang bij T = 20°C bijvoorbeeld 200 N/mm² bedraagt, wordt de Emod lang bij T = 30°C, 200 x 0.90 x 0.85 = 153 N/mm².

- **Classificatie en overzicht drukklasreeksen:**

De kwaliteit en sterkte van HDPE-buizen wordt aangegeven met:

- MRS = minimum required strength (dichtheid-afhankelijk);
- SDR = strength-dimension ratio.

De MRS-waarde is de 50 jaar lange duur sterkte bij 20°C.

CLASSIFICATIE

type HDPE	MRS waarde (50 jaar, 20°C) in Mpa (N/mm ²) ten minste vereist
PE.MRS 63 (PE 50)	6,3
PE.MRS 80	8,0
PE.MRS 100	10,0

Andere aanduidingen zijn:

- SDR-getal = nominale buisbuitendiam./min. wanddikte
- S-serie getal = (SDR-1)/2
- MPA-getal = 1 Mpa = 10 bar

OVERZICHT DRUKKLASREEKSEN

SDR getal	26	21	17,6	11	7,25
S-serie getal	12,5	10	8,3	5	3,125
nom. druk P in Mpa voor:					
PE.MRS 80	0,5	0,6	0,8	1,25	
PE.MRS 100	0,6	0,8	1,0	1,6	

- **Buigspanning:**

De toelaatbare buigspanning dient ten gevolge van de rekentemperatuur $T = 30^{\circ}\text{C}$ gereduceerd te worden met de reductiefactor 0.8 (zie voor reductiefactoren andere temperaturen (6)).

Besteksmatig wordt geadviseerd het buistype voor te schrijven op basis van de toelaatbare spanning lange duur.

Advies: naar keuze (gebruikssituatie) voorschrijven:

- **PE.MRS 63:** toel. buigspanning = $6,3 \times 0,8 = 5,0 \text{ N/mm}^2$;
- **PE.MRS 80:** toel. buigspanning = $8,0 \times 0,8 = 6,4 \text{ N/mm}^2$;
- **PE.MRS100:** toel. buigspanning = $10,0 \times 0,8 = 8,0 \text{ N/mm}^2$.

Let wel: ten aanzien van de spanningen dient bij de dimensionering van drainagebuizen nog gerekend te worden met een veiligheidsfactor $n = 1,50$ (zie onderdeel veiligheden hierna).

Ook voor de aan te houden rekenwaarde voor de toelaatbare buigspanning korte duur bij $T = 30^{\circ}\text{C}$ geldt een maximum.

Advies: Een hogere buisklasse, dus hogere toelaatbare buigspanning is direct gekoppeld aan een hogere dichtheid. Nader onderzoek is gewenst om het verloop van de relatie vast te stellen.

Enkele leveranciers leveren HDPE met hogere toelaatbare buigspanningen bij $T = 30^{\circ}\text{C}$ van circa 8 tot 12 N/mm^2 . Hiermee mag gerekend worden indien dit in de betreffende situatie voor die specifieke HDPE-buis is aangetoond door proeven.

Met name wanneer de wanddikte bij proefberekening onaanvaardbaar groot zou worden bij toepassen van buizen volgens de huidige standaardtabellen (dus de minimaal-gegarandeerde kwaliteiten) dienen specifieke eisen te worden gesteld.

Als voorbeeld kan gelden:

- min. dichtheid $0,955 \text{ gr/cm}^3$;
- min. toelaatbare buigspanning $T = 30$, lange duur 50 jaar: $> 10 \text{ N/mm}^2$;
- Emod lange duur, $T = 30$: $> 150 \text{ N/mm}^2$.

Indien ook met dergelijke buiskwaliteiten (beperkt verkrijgbaar) een gladde, vollwandbuis niet haalbaar blijkt, dient te worden uitgeweken naar profielversterkte buis (zie ook aspect wanddikte hierna).

- **Vervorming:**
Bij de controle op vervorming dient te worden uitgegaan van een maximale toelaatbare vervorming.
Advies: toelaatbare vervorming korte duur = 2%.
Advies: toelaatbare vervorming lange duur = 6%
- **Veiligheden:**
Bij een aantal parameters dienen veiligheden te worden aangehouden.
Advies:
 - buigspanning: $n = 1,50$;
 - stabiliteit: $n = 2,50$;
 - vervorming: $n = 1,0$.
- **Buisdiameter:**
In verband met camera-inspectie (en doorspuitbaarheid) geldt een minimale buisdiameter.
Advies: Diameter van 160 tot 200 mm, afhankelijk van de situatie.
- **Open oppervlak:**
Het totale open oppervlak van de buis, dat wil zeggen de oppervlakte van de drainopeningen, moet groter dan of gelijk zijn aan 100 cm^2 per strekkende meter buis.

Aanbevolen wordt voorts het open oppervlak af te stemmen op het inwendig buisoppervlak.

Advies:

- $A > 100 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $A = 7 \text{ à } 8\%$ van het inwendig buisoppervlak.

Een grotere open oppervlak wordt niet nodig geacht en kan leiden tot te grote verzwakking van de buis.

- **Drainopeningen:**
 - a. **Minimum afmetingen**
De drainopeningen dienen over een hoek van 220° tot 240° (circa $2/3$ van de buisomtrek) gezien vanaf de bovenzijde, te worden aangebracht. Het gesloten gedeelte bedraagt dan circa $1/3$ van de buisomtrek, gezien vanaf de onderzijde.

Advies minimum afmetingen openingen:

- in geval van sleufjes: sleufbreedte $\geq 5 \text{ mm}$, sleuflengte $\geq 25 \text{ mm}$, aangebracht loodrecht op de buisas, zie (2);
- in geval van ronde gaatjes: diameter $\geq 10 \text{ mm}$, zie (2);
- ongeperforeerde lengte aan het eind van de buis $150 - 200 \text{ mm}$.

Vorm, afmeting en richting van sleufopeningen zijn bepalend voor de mate van verzwakking van de buis (zie onderdeel verzwakking hierna).

b. Afmeting in verband met doorspuitbaarheid

Voor een goede doorspuitbaarheid van sleufjes geldt de volgende eis: sleufbreedte $\geq 0,3 \times$ buiswanddikte (7). Bij extreme belastingsituaties met grote storthoogtes kan de berekening leiden tot zeer dikwandige buizen (afmeting circa 50 mm). In deze situaties is het reinigend effect van doorspuiten matig tot slecht en dus het functioneren van de drain op termijn twijfelachtig. In dergelijke situaties wordt daarom geadviseerd een profielversterkte buis toe te passen en niet een volwandige gladde buis. Bij de profielversterkte buis zitten de drainopeningen ter plaatse van het dunwandige gedeelte.

• Wanddikte:

In samenhang met het reinigen van drainbuizen is het stellen van een grens aan de wanddikte van volwandige buizen noodzakelijk. Omdat maar beperkte ervaringsgegevens beschikbaar zijn is nader onderzoek nodig. Vooralsnog geldt:

Advies: wanddikte maximaal 35 mm.

• Verzwakking:

De verzwakkingsfactor K_s is afhankelijk van het percentage open oppervlak en de produktiemethode. Sleuffabricage met behulp van een vingervrees veroorzaakt minder verzwakking dan produktie met een cirkelfrees/zaag.

Afhankelijk van de situatie zullen gemiddeld de volgende waarden gelden:

Advies: $K_s = 0,80$ a $0,90$.

Voor produktie van ronde gaatjes tijdens het extrusieproces geldt $K_s = 1,00$.

Nader onderzoek naar bepaling van de verzwakkingsfactoren en juiste beproevingsmethode is gewenst.

4. Parameters uit oplegging en drain-omhullingsmateriaal

4.1 Inbedding

Materiaal: Voor inbedding van de drainbuizen wordt geadviseerd zand 0/2a of zand 0/4a in een dikte van bij voorkeur minimaal 0,1 m. Een zandbentonietmengsel wordt bij voorkeur niet toegepast, gezien de uitvoeringsproblemen die zich bij het gebruik van bentoniet kunnen voordoen.

Onder deze directe oplegging is zandbentoniet evenwel meer geschikt dan afdichtingen van kleimateriaal als onderafdichting.

Verdichtingsgraad: hoe groter de verdichtingsgraad van het oplegmateriaal bij inbouw van de drainagebuis, des te hoger de aanvangselasticiteitsmodulus. Hierdoor ontstaat een betere belastingoverdracht naar de ondergrond. Er wordt bij inbouw geadviseerd uit te gaan van een minimale verdichtingsgraad Dpr van 95% van het inbeddingsmateriaal en een waarde van minimaal 98% Dpr van het materiaal daaronder.

Elasticiteitsmodulus: de Emod van het oplegmateriaal wordt bepaald door het soort materiaal, de verdichtingsgraad en de bovenbelasting ten gevolge van het stortlichaam. Voor een grafisch verband van de relatie verticale bodemspanning (bovenbelasting bij verschillende grondsoorten) met de optredende elasticiteitsmodulus (Emod) wordt verwezen naar figuur 1. Voor het opleggingsmateriaal zand dient de SE-curve gebruikt te worden. Tijdens de inbouwsituatie gelden de volgende Emod-waarden voor het oplegmateriaal:

- zand 0/2a en zand 0/4a: bij Dpr = 95% ==> Emod = circa 8 N/mm²;
 bij Dpr = 97% ==> Emod = circa 11 N/mm².

Op stortlocaties zal de maximale storthoogte na verloop van tijd bereikt worden. De volledige bovenbelasting is dan aanwezig, zodat vanaf dat moment ook een hogere Emod van toepassing is (zie figuur 1). Enige richtwaarden voor de Emod van zand 0/2a en zand 0/4a zijn dan:

- belasting 150 KN/m² (circa 10 m storthoogte) ==> Emod = 16 N/mm²;
- belasting 300 KN/m² (circa 20 m storthoogte) ==> Emod = 29 N/mm²;
- belasting 600 KN/m² (circa 40 m storthoogte) ==> Emod = 36 N/mm²;
- belasting 900 KN/m² (circa 60 m storthoogte) ==> Emod = 47 N/mm².

Zoals reeds vermeld in par. 2.1 dient bij dimensionering volgens de ATV-methode een gecombineerde Emod gebruikt te worden.

Voor iedere afzonderlijke situatie moet een zo nauwkeurig mogelijke inschatting gemaakt te worden van deze Emod gecombineerd. Na nader onderzoek kunnen bij de eindige elementenmethode de Emoduli van de afzonderlijke lagen worden toegepast.

Opleghoek: De drainagebuizen dienen met een opleghoek van 120° ingebouwd te worden. De rekenopleghoek voor drainagebuizen bedraagt 90° voor voldoende veiligheid ten aanzien van de stabiliteit. Een nauwkeurige begeleiding en controle tijdens de uitvoering is hier van groot belang.

4.2 *Omhullingsmateriaal*

Materiaal: Het omhullingsmateriaal moet bestaan uit **gewassen rondkorrelig grind 8/16 of 8/32**, met een beperkte hoeveelheid platte delen (maximaal 25%, bij voorkeur minder dan 10%). Door het grind aan te brengen als grindkoffer is er een gelijkmatige belastingoverdracht naar de buiswand en de ondergrond. Het grind is relatief stijf en trekt veel belasting naar zich toe. Aan de afmetingen van de grindkoffer worden daarom minimumeisen gesteld (par. 5.1 hierna).

Volumieke massa: De volumieke massa van het omhullingsmateriaal grind wordt gesteld op 20 KN/m³.

Inwendige wrijvingshoek: De inwendige wrijvingshoek van het omhullingsmateriaal grind wordt gesteld op 35°.

Verdichtingsgraad: Er wordt bij inbouw geadviseerd uit te gaan van een **minimale verdichtingsgraad** Dpr voor het omhullingsmateriaal van **95%**. De verdichtingsgraad bij volledige stortbelasting wordt gesteld op **100%**.

Elasticiteitsmodulus: de Emod van het omhullingsmateriaal grind wordt bepaald door de verdichtingsgraad en de bovenbelasting van het stortmateriaal. Voor een grafisch verband wordt verwezen naar figuur 1. Voor het omhullingsmateriaal grind de GE-curve gebruiken.

Als inbouwwaarde van omhullingsmateriaal grind geldt: $E_{mod} = 16 \text{ N/mm}^2$. Bij volledige storthoogte na maximaal 5 tot 15 jaar gelden de volgende richtwaarden voor de Emod:

- belasting 150 KN/m^2 (circa 10 m storthoogte) $\implies E_{mod} = 21 \text{ N/mm}^2$;
- belasting 300 KN/m^2 (circa 20 m storthoogte) $\implies E_{mod} = 37 \text{ N/mm}^2$;
- belasting 600 KN/m^2 (circa 40 m storthoogte) $\implies E_{mod} = 44 \text{ N/mm}^2$;
- belasting 900 KN/m^2 (circa 60 m storthoogte) $\implies E_{mod} = 54 \text{ N/mm}^2$.

Ook hier geldt: Voor het meestal maatgevend criterium bij de sterkteberekening in de vorm van de lange duur sterkte (50 jaar) wordt geadviseerd de Emod te gebruiken, bepaald met een **volledige stortbelasting** volgens grafiek figuur 1.

5. Belastingen en belastingoverdracht

5.1 Grindkoffer

De inbouw van de drainagebuis dient bij voorkeur te geschieden zoals weergegeven in figuur 2. Deze inbouw is conform DIN 19667 (2). De vorm en minimale afmetingen van de grindkoffer zijn bepaald met als uitgangspunt een zo gelijkmatig en gering mogelijke overdracht van de belasting naar de buis en een zo optimaal mogelijke belastingoverdracht naar de ondergrond. De belangrijkste eisen waaraan moet worden voldaan zijn:

- grinddekking boven de buiskruin = minimaal $2 \times$ de uitwendige diameter van de drainagebuis $\implies \geq 2 \times D$ uitwendig;
- breedte grindpakket aan bovenzijde van de grindkoffer midden boven de buis = minimaal $2 \times$ de uitwendige diameter van de drainagebuis $\implies \geq 2 \times D$ uitwendig;
- breedte zandoplegging ter plaatse van de onderzijde van de buis = minimaal $4 \times$ de uitwendige buisdiameter $\implies \geq 4 \times D$ uitwendig;
- dikte oplegmateriaal onder de buis = **150 - 300 mm** (minimaal 100 mm).

Een andere vorm van de situering van drain met grindkoffer is uiteraard mogelijk (zie voorbeeld in figuur 3 en 4). Het bepalen van de optimale grindkofferafmetingen voor een optimale belastingoverdracht behoeft nader onderzoek.

5.2 Verkeersbelasting

De verkeersbelasting wordt bepaald door stortvoertuigen en compactoren. Deze voertuigen worden gelijkgesteld aan verkeersklasse 60. Hiermee moet worden gerekend, uitgaande een dekking van 1,0 m boven de buis.

Bij het stortbedrijf dient een pakket afval dik minimaal 2 m in één laag te worden aangebracht. Een nauwkeurige uitvoering van de eerste stortlagen is vereist om overbelasting van de drainagebuizen te voorkomen.

De verkeersbelasting zal bij de korte-duur beschouwing een vrij grote invloed hebben op de spanningen en vervormingen. Bij de lange-duur beschouwing is de invloed te verwaarlozen.

5.3 *Belasting door afval*

Er treedt geen silowerking op in het stortmateriaal, met andere woorden de volledige bovenbelasting dient gerekend te worden op de drainagebuizen. Volgens landelijke afspraken met betrekking tot het berekenen van buizen in het algemeen en volgens de Duitse normen, waaronder de ATV 127, wordt een reductie van de belasting ten gevolge van silowerking hier niet toegestaan.

De belasting die aangehouden dient te worden bedraagt afhankelijk van het afvalaanbod gemiddeld circa 15 à 16 KN/m³ (belasting bij bodemzetting-berekening wordt overeenkomstig aangehouden op 15 à 17 KN/m³).

6. **Nader onderzoek**

De in deze bijlage vermelde aanwijzingen en methodiek voor de drainbuisberekeningen en selectie van invoer- en beoordelingsgegevens, betekenen een verbetering ten opzichte van de standaard ATV-methode met bijbehorende DIN-bladen aangezien specifieke omstandigheden, buisuitvoering en buismateriaal in de berekening kunnen worden ingebracht.

Naar aanleiding van een aantal onzekerheden bij de huidige dimensioneringsmethodiek, (zoals in de voorgaande hoofdstukken aangegeven) is nader onderzoek noodzakelijk.

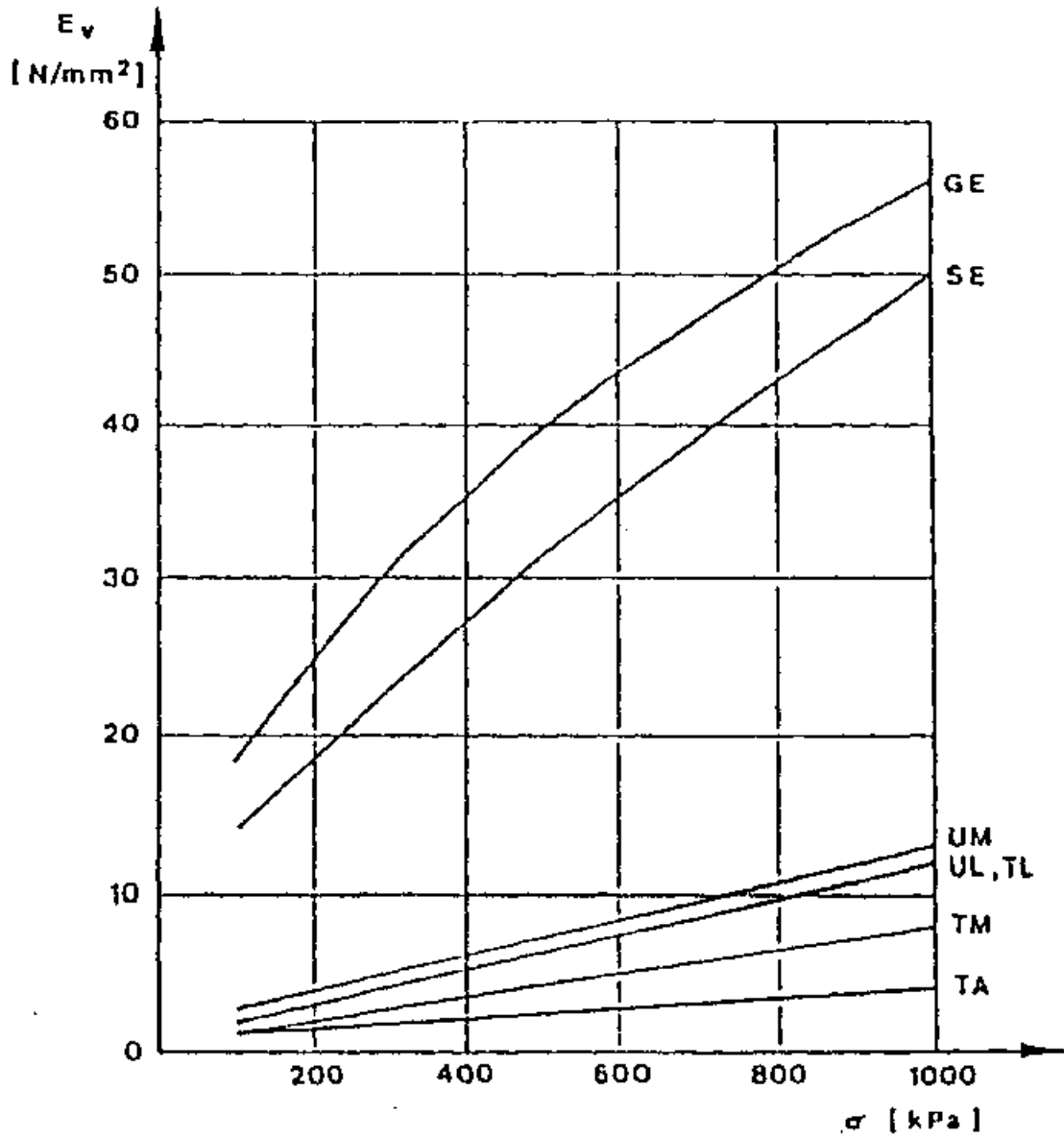
Dit betreft:

- a. de relatie dichtheid HDPE tot de toelaatbare buigspanning van het materiaal HDPE;
- b. de doorspuitbaarheid van verschillende soorten sleuven en ronde gaatjes. Bij welke wanddikte, in relatie tot sleuf/gat-afmeting, is de drain niet meer verantwoord door te spuiten;
- c. de verzwakking van de buis ten gevolge van het productieproces en vorm van de drainopeningen;
- d. de optimale afmeting en uitvoering van de oplegging en grindkoffer voor het toepassen van de drainagebuis. Het doel is een zo optimaal mogelijke belastingoverdracht naar de ondergrond, zodat de buis zo weinig mogelijk belasting opneemt;
- e. de parameters die aangehouden moeten worden voor het opleggings- en omhullingsmateriaal;
- f. welke rekenprogramma's toepasbaar zijn voor een eindige elementenberekening.

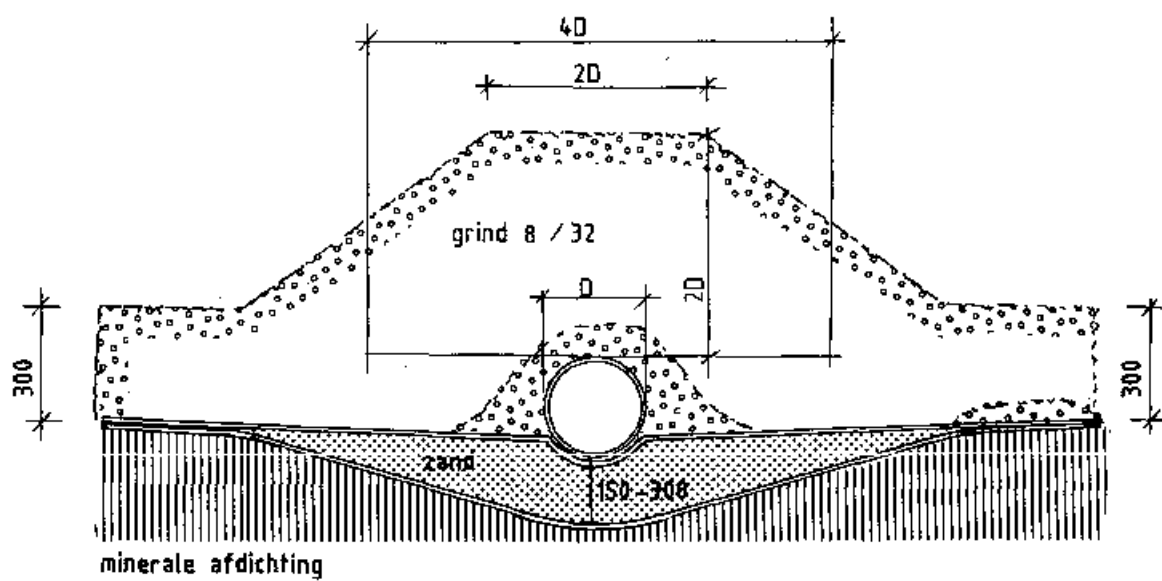
Voor het langdurig functioneren van een drainagesysteem van een stort is het van groot belang met een betrouwbare dimensioneringsmethodiek te kunnen werken.

FIGUREN:

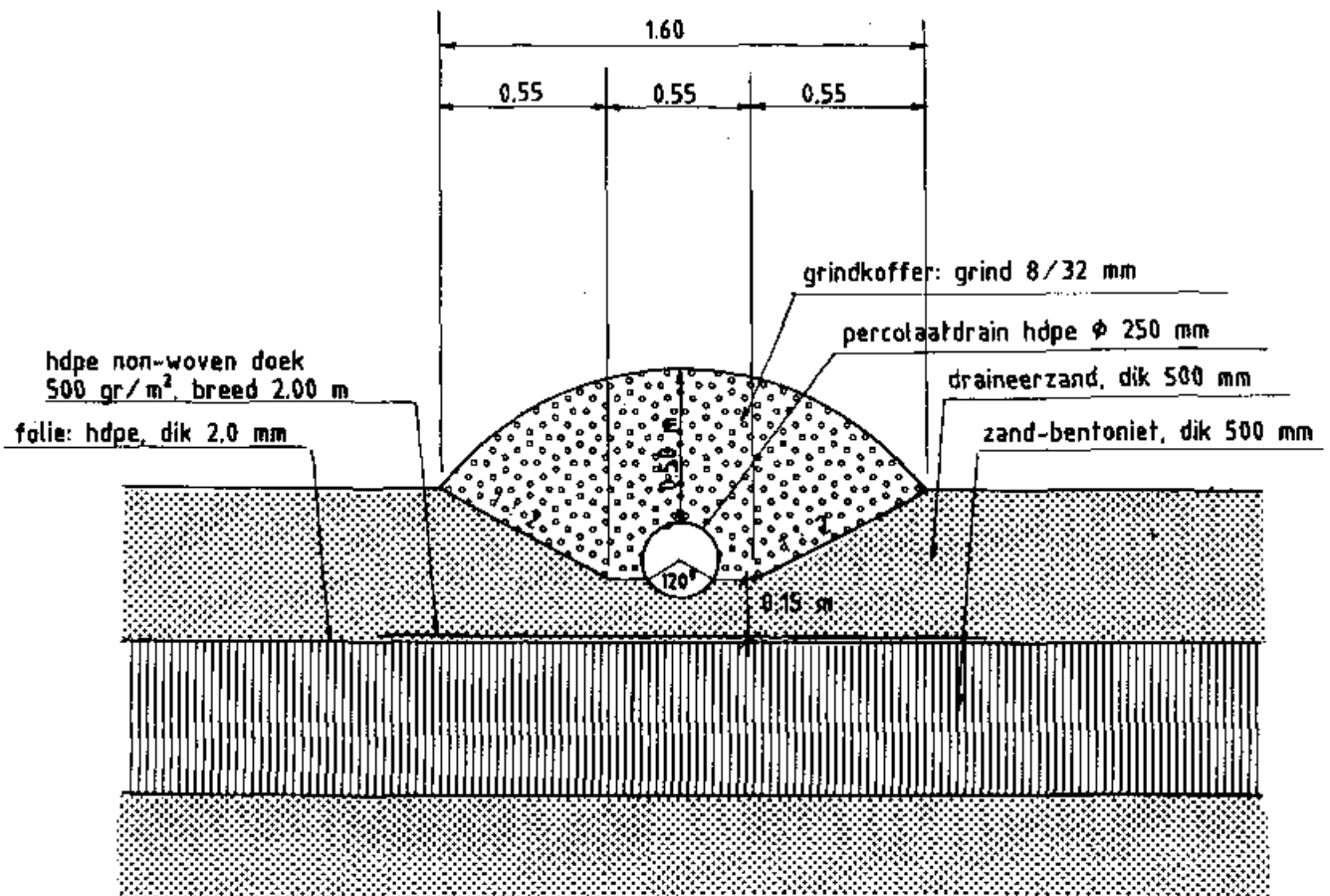
- 1 Grafiek waarin aangegeven de relatie tussen de belasting van de ophoging en de elasticiteitsmodulus van de grondsoort en dit voor diverse grondsoorten van klei tot zand en grind.
Bron: Bauku; deze grafiek wordt in Duitsland algemeen als uitgangspunt gehanteerd voor dimensionering.
- 2 Geschematiseerde doorsnede/opbouw drainagesysteem in vuilstort, conform DIN 19667.
- 3 Mogelijke vorm drainagekoffer.



Figuur 1 Optredende elasticiteitsmodules bij variabele bovenbelasting en verschillende opleggingsmaterialen



Figuur 2 Principe maatvoering grindkoffer (hierbij een drainagelaag van grind)



Figuur 3 Percolaatdrain diam. 250 en grindkoffer bij een drainagelaag van zand op een combinatie-onderafdichting met zandbentoniet

LITERATUURLIJST BIJ BIJLAGE 6

- (1) = ATV 127, "Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., St. Augustin, dezember 1988;
- (2) = DIN 19667, "Dränung von Deponien", Berlijn, mei 1991;
- (3) = DIN 4266, "Sickerrohre für Deponien", Berlijn, januari 1992;
- (4) = DIN 19537, "Rohre und Formstücke aus Polyethylen hoher Dichte für Abwasserkanälen und -leitungen", Berlijn, november 1990;
- (5) = Benutzerhandbuch für die Programme ATVROHR und DEPOROHR, Rolf Schicketanz/ Max-Joachim Wolf, Hochhuth Software Kassel;
- (6) = KIWA beoordelingsrichtlijn BRL-K 533/01 "buizen van PE.MRS80 en PE.MRS100 voor het transport van drinkwater", Rijswijk, 1991;
- (7) = Abfalltechnik/Bodenschutz, "Dränung von Deponien", Franz. J. Braun;

Overig:

- Wasser und Boden, "Sickerwasserrohre zur Deponie-Entwässerung-Systeme und praktisches Betriebsverhalten, R. Schicketanz, Aachen;
- "Statische Berechnung von Rohren; Schächten und Bauwerken aus PE-HD", Süddeutsches Kunststoffzentrum;
- Diverse documentatie van leveranciers, onder andere:
 - Nestle Chemicals;
 - KST Holland;
 - Draka Polva;
 - Egeplast;
 - Bauku;
 - Intercodam;
 - Dyka;
 - Heidemij Realisatie;
 - Preussag;
 - Wavin;
 - Hoechst.
- Diverse mondelinge informatie van onder andere:
 - KRITNO, Delft;
 - LGM, Delft.