



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

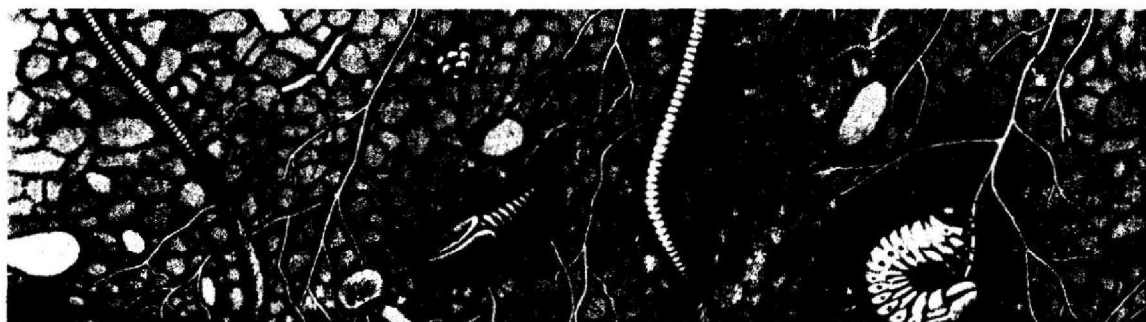
Directoraat-Generaal Milieubeheer
Directie Bodem

Richtlijn onderafdichtings- constructies voor stort- en opslagplaatsen



nr. 1993/2

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



Richtlijn onderafdichtings- constructies voor stort- en opslagplaatsen

Ministerie VROM
CS / Dienst Documentaire Informatie
Bibliotheek VROM/NIROV
interne postcode 722 840
Postbus 20951, 5.1.2e 5.1.2e 5.1.2e 5.1.2e
5.1.2e 1.2
Dienst: 1234
Signatuur: 123456789

Februari 1993

RICHTLIJN ONDERAFDICHTINGSCONSTRUCTIES

VOOR STORT- EN OPSLAGPLAATSEN

datum : februari 1993

opdrachtgever : Ministerie van VROM

opstellers : Heidemij Advies BV

- [redacted] 5.1.2e
- [redacted] 5.1.2e

begeleidingscommissie : [redacted] 5.1.2e, Ministerie van VROM, Den Haag;
[redacted] 5.1.2e Ministerie van VROM, Den Haag;
[redacted] 5.1.2e Inspectie Milieuhygiëne, Zwolle;
[redacted] 5.1.2e Staring Centrum, Wageningen;
[redacted] 5.1.2e Ver. van Afvalverwerkers, Utrecht;
[redacted] 5.1.2e Ver. van Afvalverwerkers, Utrecht.

Inhoud

1	ALGEMENE RICHTLIJNEN	14
1.1	Opbouw en materiaalkeuze	14
1.2	Vormgevingsaspecten van een stortvloer	16
1.3	Tijdsafhankelijke invloeden	17
2	BODEMBESCHERMINGSNIVEAU	22
2.1	Algemeen	22
2.2	Geotechniek en hydrologie	22
2.3	Relatie locatie en afdichtingsconstructies	26
2.4	Aanvullende maatregelen	31
3	CONTROLEVOORZIENINGEN	34
3.1	Functie	34
3.2	Richtlijn voor opbouw en materiaal	35
3.3	Richtlijn voor uitvoering	38
4	COMBINATIE-AFDICHTING	40
4.1	Functie	40
4.2	Richtlijnen voor opbouw en materiaal	40
4.3	Richtlijnen voor uitvoering	44
5	PERCOLAAT-ONTTREKKINGSSYSTEEM	47
5.1	Functie	47
5.2	Richtlijnen voor opbouw en materiaal	47
5.3	Richtlijnen voor uitvoering	51
6	OPSLUITENDE KADEN	53
6.1	Functie	53
6.2	Richtlijn voor opbouw en materiaal	54
6.3	Richtlijn voor uitvoering	57
7	AANSLUITING BOVENAFDICHTING OP ONDERAF- DICHTING	59
7.1	Functie	59
7.2	Richtlijn voor opbouw en materiaal	59
7.3	Richtlijn voor uitvoering	61
8	GASONTTREKKING	64
8.1	Functie	64
8.2	Richtlijn opbouw en materiaal	64
8.3	Richtlijn voor uitvoering	67
9	GESCHIKTHEIDSONDERZOEK MATERIALEN	69
9.1	Natuurlijke materialen	69
9.2	Onderzoek synthetisch afdichtingsmateriaal	71
9.3	Onderzoek alternatieve afdichtingsmaterialen	75

10	KWALITEITSZORG	77
10.1	Algemeen	77
10.2	Kwaliteitscontrole minerale materialen tijdens de uitvoering	78
10.3	Kwaliteitsplan minerale afdichtingen	79
10.4	Proefveld minerale afdichtingen	79
10.5	Kwaliteitsborging synthetische afdichtingsmaterialen	80
10.6	Kwaliteitsborging aanleg en acceptatie folieafdichtingen	80
10.7	Certificering uitvoerende bedrijven	81
11	BEHEER EN HERSTEL	82
11.1	Controle, onderhoud en beheer van voorzieningen	82
11.2	Herstelmogelijkheden bij storingen of gebreken	83

FIGUREN:

1 (H1)	Opbouw referentie-afdichting	15
2 (H1)	Situatie stortvak met onderafdichtingsvoorzieningen	19
3 (H1)	Profielen stortvak met voorzieningen	20
4 (H2)	Onderafdichtingsconstructies	30
5 (H6)	Profielen stortkaden	58
6 (H7)	Teenconstructie	62
7 (H8)	Horizontale gasonttrekkingsvoorziening	68

Samenvatting

Wettelijk kader afvalstoffenberging

Het bodembeschermingsbeleid inzake lokale verontreinigingsbronnen is gericht op het zoveel mogelijk beperken van de belasting van het milieu door afvalstoffen. Hoofduitgangspunt hierbij is het behoud van de functies en kwaliteit van de bodem. Het wettelijk kader hiervoor wordt gevormd door de Wet bodembescherming die per 1 januari 1987 in werking is getreden. Aan de artikelen 8 t/m 13 van deze wet wordt een invulling gegeven door reeds uitgebrachte en nog uit te brengen Algemene Maatregelen van Bestuur.

In dit kader wordt op 1 maart 1993 het Stortbesluit Bodembescherming van kracht. Dit Stortbesluit is een zogenaamd instructie-AMvB, dat de bevoegde gezagen opdraagt om aan de voor stortplaatsen te verstrekken vergunningen ingevolge de Wet Milieubeheer zodanige voorschriften te verbinden dat wordt voldaan aan de door de Rijksoverheid gestelde eisen ten aanzien van de isolatie, de beheersbaarheid en de controle (IBC-criteria).

Aan het Stortbesluit is een Uitvoeringsregeling gekoppeld waarin de bepalingen en de begrippen uit het Stortbesluit zijn uitgewerkt. In de Uitvoeringsregeling wordt verwezen naar een set van Richtlijnen waarvan de voorliggende Richtlijn deel uitmaakt.

Randvoorwaarden

Als afvalstoffen zonder enige vorm van isolatie op of in de bodem worden gebracht, zal dit over het algemeen leiden tot een emissie van (schadelijke) stoffen naar de bodem. Meestal zullen hierdoor de streefwaarden voor de bodem en het grondwater direct onder en in de directe omgeving van de stort- of opslagplaats worden overschreden. Als gevolg van transportprocessen die in de bodem plaatsvinden kan verspreiding van de geëmitteerde stoffen optreden waardoor op kortere of langere termijn de streefwaarden ook op grotere diepte en in een groter gebied rondom de stortplaats worden overschreden. Daarbij kan ook een belasting met (schadelijke) stoffen worden veroorzaakt van het oppervlaktewater in het verspreidingsgebied. Om aan het eerder vermelde hoofduitgangspunt te kunnen voldoen zullen afvalstoffen- en reststofbergingen moeten worden voorzien van een systeem van isolerende voorzieningen. Tevens dienen controlevoorzieningen en beheersvoorzieningen, die ingrijpen mogelijk maken bij falen of verval van de isolatievoorzieningen, te worden aangebracht. Indien de beheersvoorzieningen niet worden aangebracht bij het inrichten van de stortplaats dient de situatie zodanig te zijn dat deze in een later stadium kunnen worden aangebracht. Dit geldt ook voor eventueel noodzakelijke aanvullende of vervangende controlevoorzieningen.

Het aan te brengen samenstel van isolerende voorzieningen moet in principe zodanig zijn ontworpen dat emissie volledig wordt voorkomen danwel zodanig wordt beperkt dat de streefwaarden voor bodem en grondwater in de omgeving van de stort- of opslagplaats niet worden overschreden.

Dit geldt voor zowel de korte als zeer lange termijn ("eeuwigdurend", bijvoorbeeld 10.000 jaar).

Bij het huidige kennisniveau en de volgens de huidige stand der techniek beschikbare middelen wordt het onmogelijk geacht om voor alle afvalstoffen en voor alle daarin voorkomende stoffen, in alle omstandigheden volledig te voldoen aan de hierboven aangegeven "ideale randvoorwaarde" (men zou kunnen spreken van een in technische zin onvermijdbare emissie). Het is zelfs twijfelachtig of bij een verdere uitbouw van kennis en een verdere ontwikkeling van technieken en materialen het in de toekomst mogelijk zal zijn om daaraan volledig te voldoen. Er dient dan een optimaal beschermingsniveau te worden gerealiseerd waarvan het te verwachten resultaat zo min mogelijk afwijkt van de ideale randvoorwaarde.

De effectiviteit van isolerende constructies, de controle mogelijkheden en de beheersbaarheid van de processen bij het falen van (onderdelen van) het isolatiesysteem zijn in belangrijke mate locatieafhankelijk. Ook de kwetsbaarheid van de omgeving kan bij het ontwerp een belangrijke rol spelen. Er zijn locaties waar als gevolg van de daar geldende omstandigheden kan worden volstaan met een isolatiesysteem dat relatief eenvoudig van opzet is; andere locaties stellen zwaardere eisen aan het isolatiesysteem.

Ook bij het ontwerpen van effectieve controle- en beheersvoorzieningen zijn de ter plaatse van de stortplaatslocatie geldende omstandigheden bepalend voor het ontwerp.

Omdat het in de praktijk meestal (nog) onmogelijk is om aan de eerder geschetste ideale randvoorwaarden te voldoen, zal een voor een stortplaats op een bepaalde locatie ontworpen isolatiesysteem moeten worden getoetst op de aanvaardbaarheid van de te verwachten effecten in de omgeving. Zolang er echter geen landelijk effectgericht toetsingskader beschikbaar is waarmee bijvoorbeeld op zekere afstand van de stortplaats de te verwachten risico's worden beoordeeld van de voorspelde contaminatie, zal het bevoegd gezag zelf een uitspraak dienen te doen over de aanvaardbaarheid van de bij de voorgestelde constructie(s) te verwachten emissies.

Bij grote stortplaatsen spelen de uitkomsten van de op te stellen Milieu-effectrapportages (MER's) een belangrijke rol bij de keuzebepalende afwegingen. In deze MER's worden ook andere aspecten behandeld die bij de besluitvorming worden betrokken: ecologie, landschap, andere beïnvloedbare functies van de locatie en zijn omgeving, en dergelijke. Wanneer het gaat om een nieuw in te richten regionale stortplaats vindt over het algemeen in eerste instantie een globale benadering van de geschiktheidsaspecten plaats in een zogenaamd "locatie-MER", waarin potentiële afvalbergingslocaties worden beoordeeld en gewaardeerd, en vervolgens tegen elkaar kunnen worden afgewogen. Locaties die in geohydrologische zin duidelijk ongeschikt zijn dienen daarbij te worden geïdentificeerd en afgewezen. In het "Inrichtings-MER" worden voor een gekozen locatie voor verschillende varianten de effecten zichtbaar gemaakt voor de omgeving van de gekozen locatie. Daarnaast worden risicogevoeligheid, faalkansen en de gevolgen van het falen van (onderdelen van) voorzieningen in beeld gebracht. Een ontwerp dat wat betreft emissiebeperking en/of minimalisatie van de effecten van een emissie op bodem en grondwater als optimaal te beschouwen is, kan echter bij aanleg, exploitatie of als gevolg van het in werking houden van een isolatiesysteem een milieubelasting teweeg brengen op de omgeving.

Het resulterende milieurendement is dan beperkt en kan vergeleken met andere minder isolerende varianten zo gering zijn, dat de keuze op een andere variant moet vallen.

Er is sprake van een ongeschikte locatie indien als gevolg van de daar geldende omstandigheden, ook bij een optimaal isolatiesysteem:

- het bereikte bodembeschermingsniveau als onvoldoende moet worden gekwalificeerd;
- of, er een onbeheersbare situatie dreigt te ontstaan bij het falen (van onderdelen) van het isolatiesysteem;
- of, controle op de effectiviteit van het isolatiesysteem onmogelijk moet worden geacht.

Afvalberging als bouwwerk

Een stortplaats of reststofberging moet worden beschouwd als een bouwwerk.

De belangrijkste constructieve eis die aan dit bouwwerk wordt gesteld, betreft het voorkomen van belasting van het milieu door afvalstoffen. Deze eis geldt (in afwijking van de voor de meeste bouwwerken geldende eisen) ook voor de zeer lange termijn: in principe "eeuwigdurend".

De beschermingsconstructie wordt daarom opgebouwd uit een aantal veiligheidselementen die zodanig in één ontwerp worden gecombineerd, dat zoveel mogelijk wordt voldaan aan de bovenvermelde eis. Het functioneren van de veiligheidselementen is gericht op:

- het zoveel mogelijk vastgelegd houden van stoffen in het afval, dan wel het zoveel mogelijk vastleggen van stoffen in de isolatieconstructie;
- het elimineren of zoveel mogelijk beperken van vloeistoftransport vanuit de stortplaats naar de omgeving;
- het elimineren of zoveel mogelijk beperken van stoftransport als gevolg van diffusie vanuit de stortplaats naar de omgeving.

De elementen van een dergelijk samenstel van isolerende voorzieningen kunnen onder andere bestaan uit:

- voorzieningen die het ontstaan van omstandigheden tegengaan waarbij mobilisatie optreedt van (bepaalde) stoffen (bijvoorbeeld bovenafdichting tegen uitloging) en/of die stoffen vastleggen in de constructie (bijvoorbeeld adsorberende lagen);
- lagen (barrières) die de transportweg onderbreken (vloeistofdicht, diffusiedicht of -onderbrekend) danwel vanwege hun weerstandbiedende eigenschappen het transport sterk afremmen;
- voorzieningen die tot doel hebben transportbepalende gradiënten (hydraulische gradiënt; diffusiegradiënt) te elimineren, te beperken en in bepaalde gevallen zodanig in te stellen dat de stromingsrichting in een gewenste richting wordt afgebogen;
- aanvullende onttrekkings-, verzamel- en afvoervoorzieningen.

Ook kunnen op een bepaalde locatie van nature aanwezige lagen en condities bij aangetoonde geschiktheid een functie vervullen in het systeem.

Daarbij mag niet uit het oog worden verloren dat condities en (vaak dientengevolge) eigenschappen van in het systeem bruikbare natuurlijke lagen in de loop van de tijd kunnen wijzigen. Omdat de vervuilingspotentie van het gestorte afval meestal aanzienlijk is en het stoftransport vanuit de stortplaats bij toepassing van een effectief isolatiesysteem uiterst gering zal zijn, kan bij het uitvoeren van transportberekeningen voor het ontwerp veiligheidshalve worden uitgegaan van constante (dat wil zeggen niet in tijd afnemende) concentraties van aanwezige stoffen in het percolaat of het porievocht.

Wel moet rekening worden gehouden met de effecten van (omzettings-, afbraak-) processen die weinig mobiele stoffen kunnen omzetten in stoffen met een grote mobiliteit.

Verder moet nog worden opgemerkt dat (een deel van) de controle- en beheersvoorzieningen in het isolatiesysteem kunnen worden geïntegreerd. Bepaalde elementen kunnen tijdelijk of soms blijvend een dubbele functie vervullen (bijvoorbeeld isolatie en controle).

Bij de afwegingen die tot de keuze moeten leiden van een isolatiesysteem voor een stortplaats op een bepaalde locatie spelen wat betreft isolerende werking de volgende aspecten de hoofdrol:

- de effectiviteit van het isolatiesysteem als geheel zowel op de korte als op de zeer lange termijn;
- de beheersbaarheid bij het falen (van onderdelen) van de constructie (voor een belangrijk deel geschiktheid van de locatie);
- de controleerbaarheid (afhankelijk van zowel constructie als locatie).

Daarnaast is de mate waarin de constructie zelf of het instandhouden van de isolerende werking van het systeem een (milieu-) effect heeft op de omgeving medebepalend voor de keuze. Voor de beoordeling van de effectiviteit op de korte en de zeer lange termijn zijn de volgende factoren van belang:

- gevoeligheid voor fouten bij de aanleg (foutarme realiseerbaarheid) of de materiaalkeuze (certificering, kwaliteitsborging);
- betrouwbaarheid berekeningen en testmethoden;
- duurzaamheid van constructie en toegepast materiaal in relatie tot werkingsduur en chemische en/of fysische belasting;
- risicogevoeligheid (mede in relatie tot locatie-specifieke omstandigheden);
- onderhoudsgevoeligheid (vereiste mate en aard van "eeuwigdurende" onderhoudsinspanning);
- beschikbaarheid materiaal.

De onderafdichting

Een isolatiesysteem voor een stortplaats dient "eeuwigdurend" voldoende effectief te zijn. De onderafdichting vormt een onderdeel van het systeem. Dit betekent niet dat de onderafdichting overal "eeuwigdurend" een functie moet vervullen.

Er zijn plaatsen waar de omstandigheden zodanig zijn dat voor de lange en zeer lange termijn een voldoende mate van isolatie wordt verkregen door middel van een "eeuwigdurend" in stand te houden bovenafdichting.

Indien in voldoende mate zekerheid kan worden geboden dat dit daadwerkelijk zal gebeuren, kan worden volstaan met een onderafdichtconstructie die een tijdelijke rol vervult in het systeem: namelijk gedurende de tijd dat nog geen bovenafdichting is aangebracht en gedurende een bepaalde periode daarna, waarin nog vocht vrijkomt uit het afval.

Indien een locatie wordt gekarakteriseerd door een potentieel groot verspreidingsrisico, een relatief grote kwetsbaarheid van de omgeving en/of er slechts een beperkt vertrouwen bestaat in de "eeuwigdurende" nazorg van de bovenafdichting, krijgt de onderafdichting een zwaardere rol in het isolatiesysteem.

Extra voorzieningen aan de onderzijde van de stortplaats kunnen ook nodig zijn om het functioneren van controlevoorzieningen mogelijk te maken. Men dient echter steeds in gedachten te houden dat bepaalde voorzieningen die onder een stortplaats worden aangebracht voor isolatie, controle, afvoer e.d. niet kunnen worden hersteld indien zij defect raken. In bepaalde gevallen kan men dit ondervangen door toepassing (voor zover beschikbaar en realiseerbaar) van duurzame constructies en materialen, of door rekening te houden met naderhand aan te brengen of reeds bij de aanleg in te bouwen reservevoorzieningen (voor zover de hoofdconstructie en de ter plaatse geldende omstandigheden dit toe laten).

De voorliggende richtlijn behandelt constructies die onder verschillende veel in Nederland voorkomende geohydrologische omstandigheden kunnen worden toegepast. Als referentie-ontwerp geldt een constructie die kan worden toegepast onder in deze richtlijn omschreven geohydrologische omstandigheden, waarbij op relatief eenvoudige wijze een aanvaardbaar bodembeschermingsniveau kan worden bereikt. De onderafdichting speelt in deze situatie als onderdeel van het systeem voornamelijk een belangrijke rol in de tijd dat de bovenafdichting nog niet is aangebracht. De lange-termijn veiligheid hangt in hoofdzaak af van de "eeuwigdurend" in stand te houden bovenafdichting en de door de geohydrologische omstandigheden gegeven eenvoudige beheersbaarheid van de situatie. Voor situaties die worden gekarakteriseerd door een groter verspreidingsrisico en een geringere beheersbaarheid worden ontwerp-voorbeelden gegeven waarin aanvullende voorzieningen zijn opgenomen. De bedoeling daarvan is dat door middel van de extra voorzieningen een ongeveer gelijkwaardig bodembeschermingsniveau wordt verkregen als bereikt wordt met het referentieontwerp in de referentiesituatie. Men dient steeds in het oog te houden dat ingewikkelde constructies veel meer eisen stellen aan het beheer en het onderhoud dan een relatief eenvoudige constructie.

Locaties met omstandigheden waaronder gebruik kan worden gemaakt van het referentieontwerp zijn echter slechts in beperkte mate beschikbaar voor de inrichting van stortplaatsen.

N.B.

Het ontwerp-voorbeeld voor stortplaatsen op hoge zandgronden met een dik freatisch watervoerend pakket en een diepe grondwaterstand is bedoeld voor beperkte uitbreidingen van bestaande stortplaatsen op deze in principe ongeschikte locaties. Het beschermingsniveau wordt niet gelijkwaardig geacht.

Hoewel voor de aanleg van perkolaat-afvoersystemen en controlesystemen de afzonderlijke "Richtlijn drainage-systemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen" is uitgebracht worden deze aspecten vanwege hun samenhang met onderafdichtingsconstructie in globale zin meegenomen is in de voorliggende richtlijn.

Verder bevat de Richtlijn ondermeer belangrijke onderdelen als: voorschriften voor het geschiktheidsonderzoek van materialen die voor de aanleg van afdichtende lagen kunnen worden toegepast, voorschriften ten behoeve van de kwaliteitszorg en aanwijzingen voor de uitvoering van het beheer en het herstel (voor zover mogelijk) van voorzieningen.

Toepassing van deze richtlijn

De onderafdichtingsconstructie vormt in alle gevallen voor de korte termijn, maar in zeer veel situaties ook voor de lange termijn een essentieel onderdeel van het isolatiesysteem van een stortplaats.

De problematiek van het ontwerpen, construeren en onderhouden daarvan verdient een zorgvuldige benadering. Een plan voor onderafdichting moet minimaal bevatten:

- de aanduiding van de functie van de onderafdichtingsconstructie in het isolatiesysteem;
- een vermelding van de gehanteerde uitgangspunten en ontwerpnormen alsmede de geraadpleegde literatuur en bouwrichtlijnen;
- een beschrijving van het ontwerp, dat wil zeggen de dimensionering, de toegepaste materialen en de uitvoeringsmethoden;
- een programma voor kwaliteitsborging;
- een scenario voor controle en nazorg, aangevuld met herstelmogelijkheden bij geconstateerde storingen of gebreken.

Het hoeft geen betoog dat de in de richtlijnen aangegeven constructies niet zonder meer op grond van een globale beoordeling van de locatie-omstandigheden als recept kunnen worden toegepast. Ook indien geen MER wordt opgesteld waarin alle relevante aspecten aan de orde kunnen komen zal:

- een onderzoek moeten worden uitgevoerd dat de omstandigheden die gelden voor een gekozen locatie duidelijk in beeld brengt;
- een weloverwogen keuze moeten worden gemaakt uit de toepasbare constructies;
- een zorgvuldige selectie moeten plaatsvinden van de in de constructie toe te passen materialen;
- de emissie van stoffen uit de stortplaats door middel van berekeningen moeten worden voorspeld;
- door middel van verspreidingsberekeningen de te verwachten beïnvloeding (immissie) van de omgeving moeten worden bepaald.

Het probleem doet zich daarbij voor dat er nog grote leemten bestaan in de kennis die noodzakelijk is voor het ontwerpen van stortplaatsen die blijvend ("eeuwigdurend") emissievrij zijn, dan wel zodanig (controleerbaar) geïsoleerd dat de beperkte emissie geen onacceptabele effecten teweeg brengt in de omgeving.

Praktijkgegevens over het gedrag van constructies en materialen op de (zeer) lange termijn ontbreken en zullen mogelijk nooit in de gewenste kwaliteit en detaillering beschikbaar komen voor de periode waarin de isolerende voorzieningen effectief dienen te zijn: "eeuwigdurend". Noodgedwongen zal men zich moeten behelpen met theoretische beschouwingen, inzichten, berekeningen waarvan de relevantie aannemelijk is, en testen die op grond van de huidige inzichten zijn ontworpen om het lange-termijn gedrag te voorspellen.

Ook leiden ontwikkelingen die als gevolg van het zich wijzigende afvalstoffenbeleid plaatsvinden op het gebied van de bij stortplaatsen aangeboden soorten afvalstoffen ertoe, dat nog geen gegevens beschikbaar zijn over de in de nabije toekomst te verwachten chemische samenstelling van het poriewater in het gestorte afval. Voor ontwerp-berekeningen zal daarom vooralsnog (wellicht blijvend) moeten worden uitgegaan van veronderstellingen die gebaseerd zijn op theoretische beschouwingen en huidige verwachtingen ten aanzien van het bij stortplaatsen aangeboden afval. Over het gedrag en eventuele interacties onder de in de stortplaats gecreëerde omstandigheden is nog weinig bekend. Voorspellingen van de te verwachten poriewatersamenstelling blijven het karakter houden van "zinnige" aannamen zolang er nog onvoldoende praktijkgegevens beschikbaar zijn. Voor berekeningen die worden gemaakt om inzicht te krijgen in de effectiviteit van een isolatiesysteem en de potentiële verspreiding van stoffen in de bodem zal men uit dienen te gaan van "veilige" aannamen: waarden voor de chemische samenstelling die zijn gebaseerd op een relatief ongunstig verwachtingspatroon.

Het voorliggende document is gebaseerd op huidige inzichten over processen, toepasbare constructies, beschikbare materialen e.d. Het is niet de bedoeling dat de ontwikkeling in kennisopbouw, kwaliteitsverbetering van materialen e.d. zal stilstaan na het uitbrengen van deze richtlijn. Men zal moeten blijven streven naar de ontwikkeling van isolatiesystemen die zoveel mogelijk aan de "ideale" randvoorwaarde voldoen en tevens onderhoudsarm en risico-arm zijn. Bij het verdergaand beperken van emissies uit stortplaatsen en het onderhoudsvrij en risicovrij maken van deze voorzieningen zal onontkoombaar meer aandacht moeten worden geschonken aan het tegengaan van mobiliteit van stoffen in het gestorte materiaal.

Verdergaande kennisopbouw en verdergaande ontwikkelingen van toepasbare materialen nopen tot het periodiek herzien van richtlijnen, omdat regels geen belemmering mogen vormen voor het bereiken van een hoger en in alle opzichten aanvaardbaar bodembeschermingsniveau.

Bij het introduceren van alternatieve constructies en materialen dient te worden gestreefd naar een hoger isolerend vermogen dan de mate van isolatie die kan worden bereikt met de in de richtlijn voorgestelde constructies en de daarvoor aangegeven materialen. In het algemeen dient men te streven naar het toepassen van zeer duurzame materialen aangezien bepaalde stoftransporten zeer lang kunnen voortduren. De mate waarin constructies onderhoud behoeven en hun gevoeligheid voor beschadiging zijn eveneens belangrijke keuze-bepalende factoren. Men dient steeds in het oog te houden, dat bij constructies die "eeuwigdurend" onderhoud vergen de veiligheid voor de lange termijn wordt bepaald door het vertrouwen dat men kan (mag) stellen in de toekomstige beheerders van de locatie.

Daarbij vormt het gegeven dat het falen (van onderdelen) van het isolatiesysteem zich niet onmiddellijk manifesteert als een duidelijke, voor iedereen waarneembare calamiteit, een extra moeilijkheid.

Met het voorliggende document wordt beoogd een technische ondersteuning te bieden aan vergunningverlenende instanties. Het heeft de status van richtlijn in het kader van het Stortbesluit en de Uitvoeringsregeling. Het zal in dat verband in de vergunningverlening worden betrokken om te komen tot een verantwoord ontwerp van een onderafdichting van stort- en opslagplaatsen. Voor het opstellen van deze richtlijnen is gebruik gemaakt van de volgende documenten (in de tekst zijn verwijzingen opgenomen met corresponderende nummers):

- [1] 'Studie Onderafdichtingsconstructies'.
Ministerie van VROM - Staring Centrum en Heidemij Advies BV,
Staring Centrum rapportnr. 247 januari 1993.
- [2] 'Stortbesluit Bodembescherming'. Staatsblad 1993 55.
- [3] 'Uitvoeringsregeling stortbesluit Bodembescherming'.
Staatscourant 1993, 37.
- [4] 'Richtlijn dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen'.
VROM Publikatiereeks Bodembescherming nr. 1991/2.
- [5] 'Handleiding voor ontwerp en constructie van dichte eindafdekkingen
van afval- en reststofbergingen'.
VROM Publikatiereeks Bodembescherming nr. 1991/4.
- [6] 'De waterdichtheid van natuurlijke materialen in relatie met de boven-
afdichting van stortterreinen".
Staring Centrum Wageningen, 1990, rapport 69.
- [7] 'Protocollen voor het toepassen van kunststof geomembranen ten
behoefte van bodembescherming'.
VROM, KRI/TNO, KIWA, RTD.
Deel I materialen: KRI/TNO rapportnr. 794/92.
Deel II aanleg en acceptatie; KRI/TNO rapportnr. 795/92.
- [8] 'Richtlijn voor het toepassen van geomembranen ter bescherming van
het milieu".
VROM, NGO, KRI/TNO, KIWA; KRI/TNO rapportnr. 296/91.
- [9] 'Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und
Altlasten".
GDA, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., Berlin,
1990.
Geotechnics of Landfills and Contaminated Land: Technical Recommendations "GLC"/ed. by the 5.1.2e Geotechnical Society for the
International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, -
Berlin, 1991.

- [10] 'T.A. (Sonder-) Abfall, Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung, (für besonders überwachungsbedürftigen Abfällen); Verlag W. Kohlhammer 2. Auflage 1991.
- [11] 'Locatiecriteria voor afvalstortplaatsen, een checklist'. Ministerie van VROM - K.U. Nijmegen, december 1991
- [12] 'Richtlijn drainagesystemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen'. Min. VROM/Heidemij Advies BV. VROM Publikatiereeks Bodembescherming nr. 1993/1.

Nog uit te brengen in 1993:

- [13] CUR - C85, aanbeveling: Afdichtingsconstructies met granulair materiaal.

1 ALGEMENE RICHTLIJNEN

1.1 Opbouw en materiaalkeuze

Het ontwerp van een stortterrein is doorgaans enerzijds afgestemd op inpassing in het landschap en omgeving (en/of eventuele gebruiksmogelijkheden van de stortplaats na afwerking), en anderzijds op de geohydrologische omstandigheden van de betreffende locatie. In dit document wordt op vormgevingsaspecten niet verder ingegaan. Voor een uitgebreide behandeling wordt verwezen naar [5] (Handleiding ontwerp dichte eindafdekking), hoofdstuk 6 en 7.

De constructie van een stortterrein kan worden beschouwd als een bouwwerk, waarin een systeem van voorzieningen wordt gerealiseerd om emissies vanuit het afval naar de omgeving te voorkomen of te beperken. Een onderafdichtingsconstructie heeft daarin de functie van barrière voor het tegengaan van stoffentransport uit een afval- of reststofberging naar de bodem (isolatiecriterium).

De potentiële bedreiging voor de barrière (en daarmee de bodem) neemt af naarmate de aanwezigheid van bedreigende stoffen (in hoofdzaak met stoffen verontreinigd regenwater) tot een absoluut minimum beperkt blijft. Het onttrekken van dit water (percolaat) uit de constructie maakt het mogelijk om deze stoffen op een daarvoor geschikte plaats af te zonderen (zuiveringsinstallatie). Deze onttrekking is een onderdeel van actieve beheersinspanningen om de bedreiging te minimaliseren. Voor het geval van geheel of in sterke mate falen van de onderafdichting dient een (locatie afhankelijk) plan te zijn ontwikkeld om de gevolgen daarvan te kunnen bestrijden (beheerscriterium).

Om de goede werking van isolerende- en onttrekkingsvoorzieningen te kunnen controleren dient een waarnemingsmogelijkheid en/of een waarnemingsysteem aanwezig te zijn. Aangezien controle op de isolatie op directe wijze niet uitvoerbaar is (onder geborgen afval) vindt controle daarvan indirect plaats door het bemonsteren van grondwater in aan te brengen controlemiddelen onder en naast de afdichtende voorziening (controle-criterium).

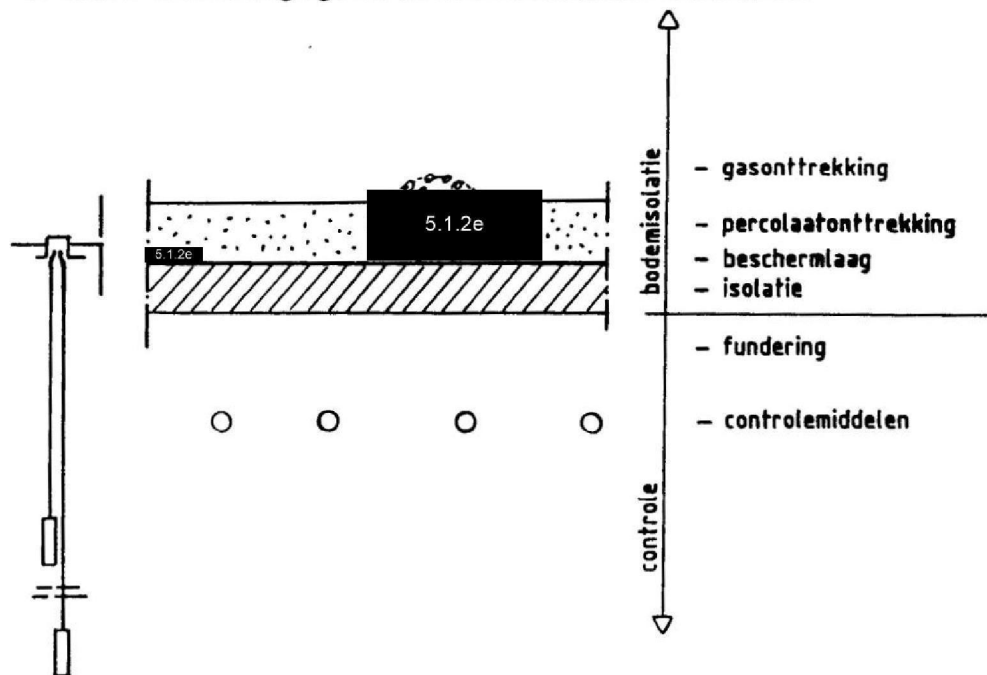
Teneinde deze functies te kunnen vervullen dient een aantal milieutechnische voorzieningen te worden aangebracht en in stand gehouden. Meer specifiek betekent dit, dat eisen gesteld dienen te worden aan opbouw, materiaalkeuze en uitvoering van voorzieningen voor:

- drainage- en afvoersysteem voor percolaat naar een zuiveringsinrichting;
- een gasonttrekkingsmogelijkheid voor uit dit percolaattransportsysteem uitredend stortgas;
- een optimale bodemafdichting die geen, of indien technisch niet realiseerbaar, zo weinig mogelijk immissie voor de bodem betekent;
- een controlesysteem onder en naast de berging;
- het periodiek (kunnen) uitvoeren van controles en onderhoud ter bewaking van het goed functioneren van voorzieningen.

In deze opzet maken de percolaatonttrekkingsvoorzieningen en de controle voorzieningen in de bodem deel uit van de onderafdichtingsconstructie.

Deze voorzieningen zijn nader beschreven in [12] (Richtlijn drainagesysteem en controlesystemen grondwater), waarin ook ontwerpaspecten zijn behandeld. In de onderhavige richtlijn zal daarom met een beperkte beschrijving worden volstaan.

In figuur 1 is de algemene (referentie-)opbouw van een onderafdichtingsconstructie schematisch weergegeven. De constructie bestaat uit isolerende lagen, een onttrekkingssysteem voor regenwateroverschot (percolaat) en controlevoorzieningen in de bodem onder en naast de stortlocatie om eventuele verontreinigingen in de bodem te kunnen waarnemen.



Figuur 1: Opbouw referentie-onderafdichting

Het percolaatonttrekkingssysteem is opgebouwd uit een resistent drainagestelsel dat in een grindkoffer is gesitueerd (figuur 1). De grindkoffer maakt deel uit van een beschermlaag van zand (bescherming afdichting) die tevens de functie van ontwatering heeft (zie hoofdstuk 5 en document [12]). Onder en naast de bodemafdichtende lagen zijn respectievelijk een horizontaal en een verticaal systeem voor controle van het grondwater aangegeven. Het horizontale systeem bestaat uit een net van drainagebuizen; het verticale systeem bestaat uit een net van waarnemingspunten, waarin per waarnemingspunt meerdere peilbuizen aanwezig kunnen zijn (zie hoofdstuk 3 en document [12]).

In document [1] (Studie onderafdichtingsconstructies) in par. 4.5 en [5] (Handleiding ontwerp dichte eindafdekking) in par. 5.7 is een beschouwing van mogelijkheden en effectiviteit van enige combinatie-afdichtingen gegeven. Daarin wordt gesteld, dat bij de op dit moment voorhanden zijnde afdichtingsmaterialen een combinatie van een minerale en een synthetische afdichting het meest effectief zal zijn voor het beperken van emissie naar de bodem.

Door onderzoek en berekening is aantoonbaar dat met een combinatie-afdichtingsconstructie, opgebouwd uit een synthetische afdichtingslaag en een minerale afdichtingslaag, een significante reductie van de lekkage kan worden bereikt ten opzichte van een enkele minerale afdichting. De effectieve doorlatendheid (inclusief lekkage door scheurvorming) op langere termijn van de beide afdichtingslagen afzonderlijk is van gelijke orde van grootte. Echter, door beide lagen in een direct en volledig contact op elkaar te leggen, wordt de totale lekkage gereduceerd en daarmee het risico van een ontoelaatbare infiltratie verder verlaagd.

Bij het opstellen van deze richtlijnen is op grond van bovenstaande overweging en conform de stand der techniek, een combinatie-afdichtingsconstructie als uitgangspunt genomen. Voor nadere uitleg wordt verwezen naar hoofdstuk 2 en 4.

In hoofdstuk 2 is de opbouw volgens figuur 1 gerelateerd aan een optimale bodemsituatie (voor controle en beheersing) ter plaatse van de stortlocatie. Deze combinatie van constructie en bodem leidt tot een aanvaardbaar bodembeschermingsniveau bij de huidige stand van techniek: het referentieniveau. Daarin wordt ook behandeld welke aanvullende afdichtingsmaatregelen of constructie-aanpassingen mogelijk noodzakelijk zijn wanneer de bodem ter plaatse van de locatie zodanig afwijkend (meer risico) is, dat een "referentie-bodembeschermings-niveau" niet kan worden gehaald.

In het algemeen geldt daarbij, dat in een afdichtingsconstructie geen materialen mogen worden toegepast, waarvan de verwerking gevaar kan opleveren voor ontoelaatbare emissies naar de bodem.

Ten aanzien van het functioneren van de onderafdichtingslagen kan worden opgemerkt, dat 2 fasen zijn te onderscheiden. Tijdens het stortbedrijf tot het moment van aanbrengen van de bovenafdichting (korte termijn) op een stortvak ligt de isolatiefunctie geheel bij de onderafdichting. Na aanbrengen van de bovenafdichting verschuift deze taak geleidelijk in hoofdzaak naar de bovenafdichting (lange termijn).

Aangezien evenwel geen absolute garantie kan worden geboden voor het "eeuwigdurend" onderhoud en in stand houden van de bovenafdichting dient de onderafdichting als volwaardige voorziening te worden ontworpen en niet als tijdelijke voorziening.

In de hoofdstukken 2 t/m 8 worden per constructie-onderdeel de functies en de daarmee samenhangende richtlijnen voor opbouw en materiaalkeuze omschreven. Tevens wordt ingegaan op de uitvoeringsaspecten.

1.2 Vormgevingsaspecten van een stortvloer

Voor nieuw in te richten stortterreinen of nog in gebruik te nemen delen van bestaande stortlocaties geldt dat een eenvoudige, rechtlijnige opzet in de plattegrond en in de ruimtelijke vormgeving van stortvakken de voorkeur geniet. De onderafdichting en de dichte eindafwerking zijn in dat geval (gefaseerd) eenvoudiger aan te brengen, hetgeen de betrouwbaarheid van de constructies verhoogt.

Daarnaast kan daarmee beter worden voldaan aan maximale lengten voor drainagesels (zie hoofdstuk 3, 5 en 8 en [12]).

Gefaseerd realiseren van stortvakken en stortbedrijf betekent ook dat niet onnodig vermenging optreedt van schoon regenwater en door afval verontreinigd water (percolaat), hetgeen resulteert in een kleinere zuiveringsinspanning. Praktische waarden voor afmetingen van stortvakken variëren van een breedte van 80 à 150 m en een lengte van 300 m, danwel een lengte van 2 x 300 m op basis van de richtlijn voor de drainagestelsels (zie figuur 2).

De begrenzing van een stortvak zal bestaan uit opsluitende kaden voor het beveiligen tegen het horizontaal ontwijken van percolaat bij mogelijk incidenteel wat hogere waterstanden (perioden met veel regenval) in een stortvak. De bodemisolerende constructie dient in deze kaden mee omhoog aangelegd te worden. Als veilige kerende hoogte wordt 1,0 à 1,50 m boven de bodemhoogte van de afdichting aangehouden (zie figuur 3).

Voor het aanbrengen van een minerale laag op kaden dienen de hellingen van kaden 1:2 of flauwer te zijn (hoofdstuk 6). Als verdergaande overloopbeveiliging kan een hoogteverschil van circa 0,20 m worden aangehouden in het niveau (waterkerende hoogte) van eindkaden (kopse zijden) en tussenkaden (tussen stortvakken).

Om voldoende afstromingsmogelijkheid voor vrijgekomen percolaat te bieden, dient enig afschot in de stortvloer en het percolaatdrainagesysteem te worden aangebracht. In document [12] wordt uitgegaan van een afschot van 0,25 à 0,50%.

Voor de kadehoogten betekent dit, dat de constructiehoogte van de benedenstroomse eindkade hoger (0,25 à 0,50% x circa 300 m) zal zijn dan die van de bovenstroomse eindkade en dat de tussenkaden een hoogteverloop te zien zullen geven.

Ter bevordering van de toestroming naar de drains wordt in document [10] een dwarsprofilering (dakprofiel) in het oppervlak van de afdichting aangegeven. Als verhang kan daarbij 2 à 3% worden aangehouden. De drainafstand blijft gehandhaafd op 15 m, zodat een sterk onregelmatig verloop van de bodemafdichting ontstaat. Scherpe knikken in de folieafdichting dienen evenwel te worden vermeden, terwijl het opvangen van deze profilering langs de kopse kaden tot kritische lasnaden kan leiden. Bij het toepassen van folieafdichtingen dient in het algemeen gestreefd te worden naar vlakke toepassing, het vermijden van onnodig hoogteverloop over korte afstanden en moeilijk uitvoerbare lasnaden.

1.3 Tijdsafhankelijke invloeden

Bij het ontwerp en realiseren van een afdichtingsconstructie dient met een aantal aanwijzingen voor tijdsafhankelijke invloeden rekening te worden gehouden.

De belangrijkste aspecten worden hierna behandeld.

1.3.1 Tijdsafhankelijke bodemaspecten

Ter plaatse van een stortplaats wordt de bodem belast door het gewicht van het stortmateriaal. Als gevolg van deze belasting treden zettingen op. Dit is een tijdsafhankelijk proces. De eindzetting wordt in geotechnisch opzicht vaak gedefinieerd als de zetting die is opgetreden na 10.000 dagen (circa 27 jaar). Zetting door samendrukking van de teelaarde wordt niet meegerekend, omdat deze bovengrond voor aanleg van de onderafdichting wordt verwijderd. De eindzetting kan, behalve door het toepassen van grondverbetering, niet worden gereduceerd.

Het is wel mogelijk deze zetting geheel of gedeeltelijk te laten optreden voordat met de aanleg van de onderafdichting wordt begonnen. Dit kan geschieden door middel van het aanbrengen van een voorbelasting, die meestal wordt aangebracht door middel van een zandlichaam. Tijdens de levensduur van de onderafdichtingsconstructie zal nu nog een zogenaamde 'restzetting' optreden.

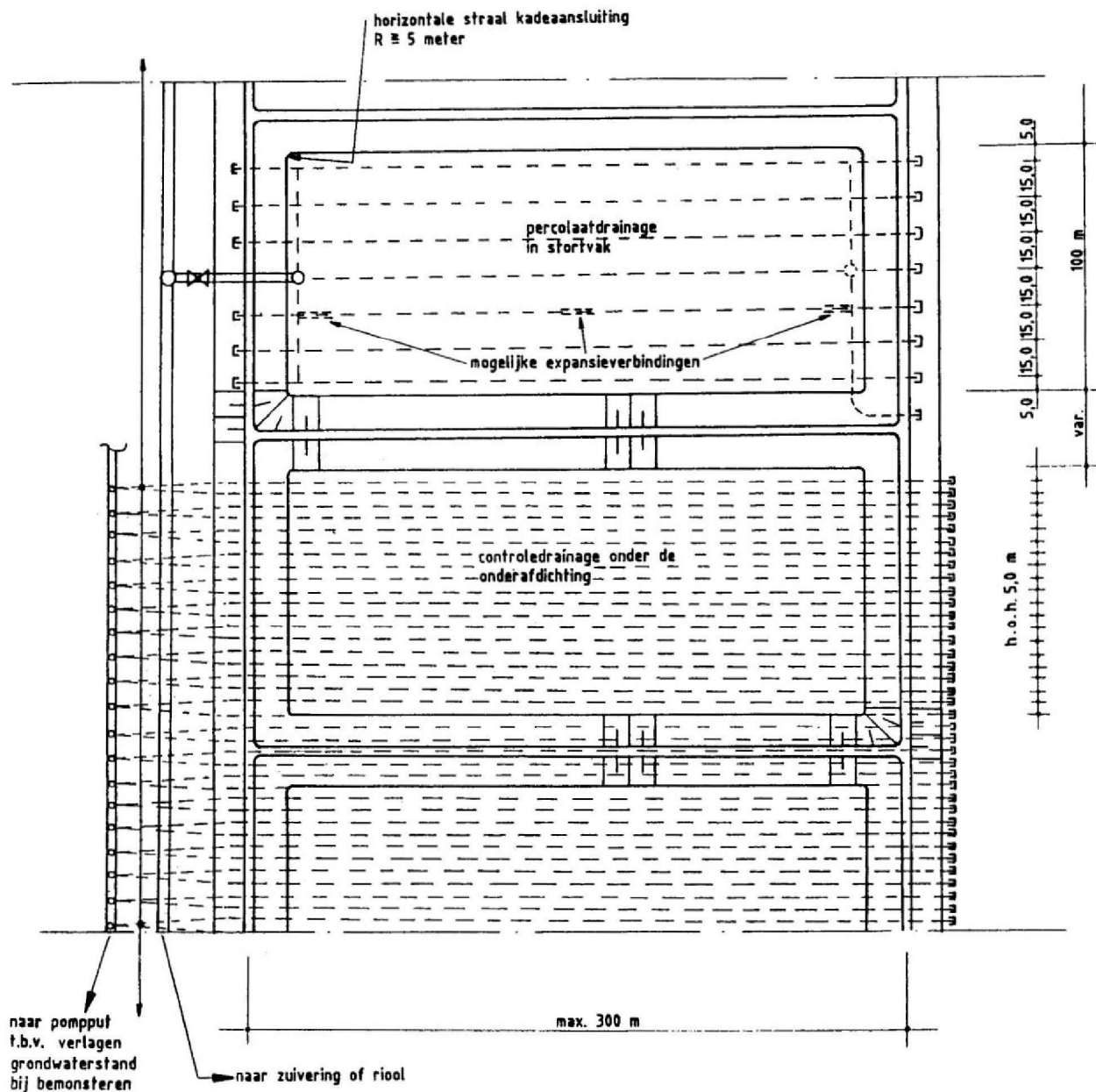
In verband met de inhomogeniteit van de bodemopbouw en bodemeigenschappen zullen doorgaans zettingsverschillen optreden. Deze zettingsverschillen zullen het functioneren van de onderafdichting nadelig beïnvloeden. Daarom wordt een grens gesteld aan de zetting die gedurende de levensduur van de onderafdichting mag optreden. Voor een onderafdichting met een standaard dikte van de minerale afdichtingslaag (0,5 m) is deze grens van de restzetting gesteld op 0,25 m. Indien de berekende restzetting ligt tussen 0,25 m en 0,50 m kan worden overwogen een toeslag op de laagdikte toe te passen. Restzettingwaarden groter dan 0,50 m zijn in principe niet aanvaardbaar.

Indien de berekende eindzettingen groter zijn dan 0,50 m, moet bij de planning van de werkzaamheden rekening gehouden worden met een voorbelastingsperiode. De duur hiervan is afhankelijk van de bodemopbouw en de methode van voorbelasten. Deze periode kan enige jaren in beslag nemen.

Een alternatief hiervoor is het geheel of gedeeltelijk verwijderen van de samendrukbare grondlagen. Dit biedt een oplossing bij een relatief dunne, slappe bovenlaag.

Het verschil in belasting en daarmee zetting tussen de volle hoogte van het stortlichaam en de zijkanten (nabij kaden) kan noodzaken tot het compenserend profileren van de afdichtingsconstructie. Daarbij kan het midden-traject van een stortvak (waar het afval de maximale hoogte krijgt) hoger worden gelegd dan de aan de buitenzijde grenzende (onder taluds liggende) gedeelten.

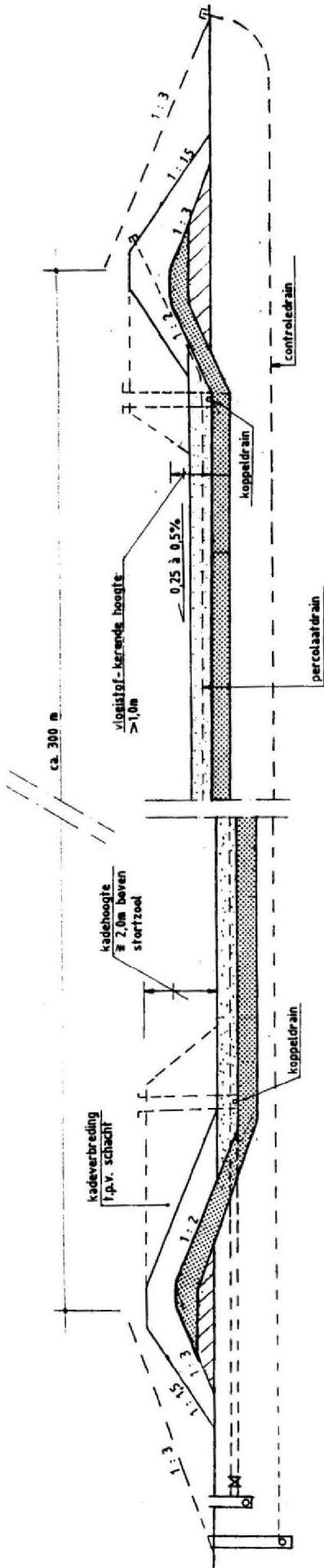
Deze profilering dient in samenhang met het lengteverhang zodanig te worden gekozen dat in de aanvangsfase geen stagnatie in de afvoer van percolaat kan optreden. Op deze wijze zal na verloop van tijd bij benadering het gewenste lengteverhang zijn ontstaan terwijl het optreden van ingesloten laagtes zo veel mogelijk wordt vermeden. Bij het bepalen van het compenserend profileren dient met de mate van nauwkeurigheid van de betreffende zettingsberekeningen rekening te worden gehouden.



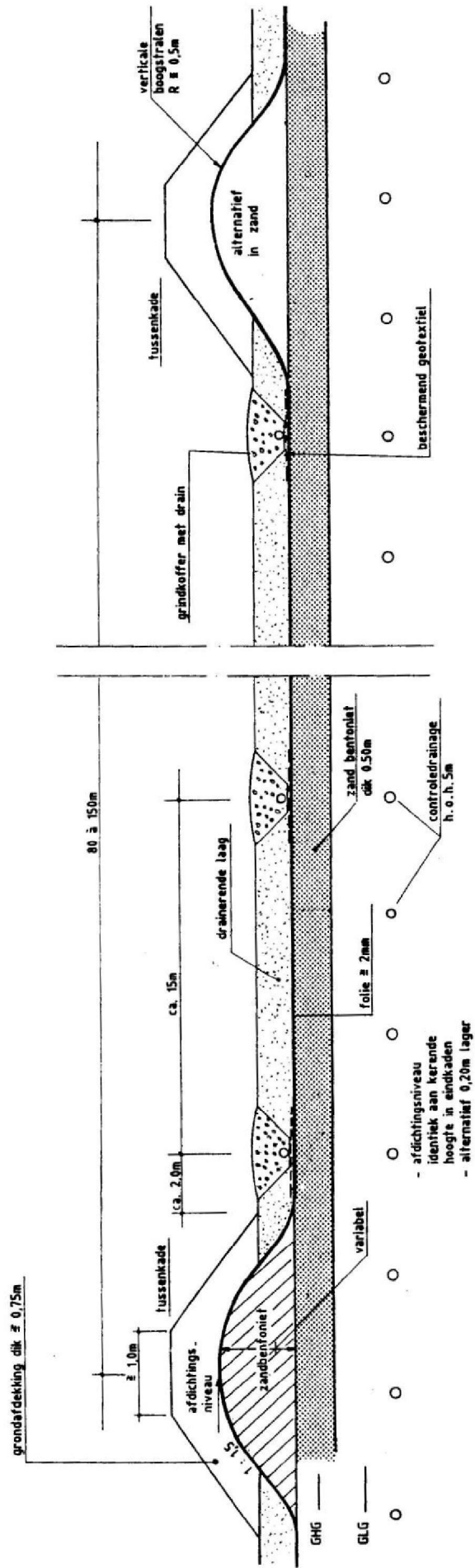
Principes stortvakken, percolaatdrainagesysteem en controledrainage

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

Figuur 2: Situatie stortvakken met onderafdichtingsvoorzieningen



Langsdoorsnede met einkaden



Dwarsdoorsnede tussenkaden

Figuur 3: Profielen van een stortvak met onderafdichtingsvoorzieningen

Ter controle van de bodemdaling als gevolg van zetting kan met zakbakens het niveau van de stortzool (onderkant afval) in de tijd gevolgd worden (zie [12]).

Bij een geleidelijk verlopende bodemdaling hebben zowel een minerale laag als een synthetische afdichtingslaag voldoende plasticiteit en vermogen tot rek om scheurvorming tegen te gaan. De in document [4] (Richtlijn dichte eindafwerking) gestelde materiaaleisen kunnen ook voor onderafdichtingen gelden. Bij een juiste uitvoering van de legvloer (fundering) voor de onderafdichtingsconstructie zal het risico voor schade hier relatief geringer zijn dan bij een bovenafdichting.

1.3.2 Tijdschema bij realiseren

Voor het aanbrengen van een onderafdichtingsconstructie kunnen werkinstructies worden gehanteerd die analoog zijn aan instructies voor het aanbrengen van bovenafdichtingen (zie [4]).

Dit geldt met name voor de werkvolgorde.

Het is raadzaam de dagproducties minerale laag, synthetische laag en de beschermende laag drainagezand op elkaar af te stemmen. Daarbij dient van de beide afdichtingslagen aan het einde van een werkdag een zo minimaal mogelijk oppervlak bloot te liggen. Op deze wijze wordt uitdrogen of door regen te nat (meerdere dagen niet meer begaanbaar) worden van de minerale laag vermeden en een goede bescherming aan de synthetische laag (reeds tijdens de uitvoeringsperiode van belang) geboden (zie ook 4.3.2).

Tijdens, maar ook na realiseren van de onderafdichtingsconstructie en opsluitende kaden dient verzadiging van het zandbed van drainagezand te worden voorkomen aangezien de kaden dan niet meer stabiel zullen zijn. Ervaringen hebben aangetoond, dat uitzakken en scheurvorming in het grondlichaam (bovenbouw) van de kaden optreden. Als gevolg daarvan ontstaan horizontale belastingen in het zandbed, waardoor opduwen van de relatief stijve grindkoffers met percolaatdrains optreedt. Dit kan tot breuk en functieverlies van dit percolaatdrainagestelsel leiden. Om die reden dient (het zandbed in) een stortvak geheel vrij van water te zijn met name gedurende het storten van de eerste, en waarschijnlijk ook bij de tweede laag afval.

2 BODEMBESCHERMINGSNIVEAU

2.1 Algemeen

In principe zal op elke locatie eenzelfde zo optimaal mogelijk niveau van bodembescherming moeten worden gerealiseerd. Daarbij gaat het niet alleen om het voorkomen van immissies, maar ook om de mogelijkheid om immissies te signaleren, de omvang van de verspreiding van stoffen in de bodem en de mogelijkheid om verspreiding te beperken.

De bodem kan door de opbouw en aard van de aanwezige grondlagen en de hydrologische situatie het creëren van voldoende beschermingsniveau onmogelijk maken. Er is sprake van een ongeschikte locatie indien als gevolg van locatie-specifieke omstandigheden het bereikte bodembeschermingsniveau onvoldoende is, omdat:

- falen van de constructie kan ontstaan door vervorming of instabiliteit van de aanwezige grondslag;
- er een onbeheersbare situatie dreigt te ontstaan bij het falen van de constructie;
- controle op de effectiviteit van de constructie (vrijwel) onmogelijk is.

De belangrijkste vormen van stoffentransport door een afdichtingslaag zijn vloeistoftransport (advectief of convectief) door lekken in een laag en moleculair transport als gevolg van concentratieverschillen (diffusie) in de richting van de laagste concentratie. De beschreven referentie-afdichtingsconstructie is verregaand vloeistofdicht en heeft een diffuseremmend (vertragend) karakter.

Voor het tegengaan van diffusie zijn aanvullende constructie-elementen noodzakelijk (par. 2.4). Bij verspreiding in de bodem spelen andere mechanismen een rol (onder andere opgeloste stof in grondwaterstroming, diffusieve verplaatsingen, dispersie en adsorptie).

In [1] (Studie onderafdichtingsconstructies) zijn de transport- en verspreidingsmechanismen nader behandeld. Op basis daarvan zijn relaties gelegd tussen de aard van verschillende bodemtypen en aard, omvang en eigenschappen van een aantal afdichtingsconstructies, waarbij het nagenoeg of geheel bereiken van het referentie-bodembeschermingsniveau mogelijk wordt geacht. Voor enkele behandelde bodemtypen geldt echter, dat de best haalbare oplossing wordt gegeven voor (uitbreiding van) bestaande locaties, doch dat dergelijke locaties voor nieuwe stortterreinen dienen te worden vermeden. In paragraaf 2.3 zijn bodemeigenschappen in samenhang met afdichtingstechnieken behandeld.

2.2 Geotechniek en hydrologie

2.2.1 Onderzoek

De locatie-specifieke omstandigheden, die bepalend zijn voor de geschiktheid van een locatie voor een stort- of opslagplaats, zijn:

- hydrologische situatie
Een belangrijke parameter is het niveau van het freatisch grondwater, dat wordt gekarakteriseerd door de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), de gemiddelde grondwaterstand (GG), en de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG).

Daarnaast zijn van invloed de stijghoogten in de dieper gelegen water-voerende grondlagen en de peilen van open water in de nabijheid van de locatie.

Indien tevens de dikte en de doorlatendheid van de aanwezige grondlagen bekend zijn, kan de hydrologische situatie worden geschematiseerd tot een hydrologisch model. Met dit model kan de richting en snelheid van de grondwaterstroming in beeld worden gebracht. Mede op basis van de aard van de grondlagen kunnen voorspellingen worden gedaan betreffende de eventuele verspreiding van verontreinigingen als functie van plaats en tijd.

- **geotechnische situatie**

Hiermee wordt bedoeld de gelaagdheid van de ondergrond en de eigenschappen van de onderscheiden grondlagen. Na schematisatie van de bodem tot een geotechnisch profiel kunnen de draagkracht van de grondslag en de zettingen door belasting met stortmateriaal worden berekend.

Aard onderzoek

Voor de inhoud en omvang van het hydrologisch (en in beperkte mate geotechnisch onderzoek) wordt in eerste instantie verwezen naar 'Richtlijn drainagesystemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen' [12]. De opzet van het onderzoek is hierna kort samengevat en aangevuld met verwijzingen naar vigerende normen en richtlijnen.

Het geotechnisch onderzoek wordt uitgevoerd volgens NEN 6740 Geotechniek, TGB 1990: Basiseisen en belastingen. In deze norm zijn richtlijnen vermeld voor geotechnisch onderzoek, inclusief onderzoek naar heersende grondwaterstanden. Methoden voor hydrologische berekeningen zijn niet beschreven. Deze zijn wel opgenomen in [12].

De constructie "stort- en opslagplaatsen" valt in de hoogste geotechnische categorie GC3.

Door inventarisatie van gegevens uit terreinonderzoek, laboratoriumonderzoek, berekeningen e.d., wordt de geologische en geohydrologische situatie in een ruim bemeten terrein vastgelegd. Door modelmatige benadering, zonodig aangevuld met gericht onderzoek, worden pakketten maatregelen berekend om emissies naar en verspreiding daarvan in de bodem te voorkomen. Daarbij zijn vooral hydrologische gradiënten van belang. Als eerste wordt een vooronderzoek verricht met als doel het globaal onderzoeken van de bruikbaarheid van de locatie (en locatieselectie). Bij dit onderzoek wordt de topografie vastgelegd door metingen of inspectie. De hydrologische situatie wordt onderzocht op basis van grondwaterstandskarten en grondwatertrappenkarten. In dit stadium is het aan te bevelen reeds peilbuismetingen te verrichten (conform NEN 5120 en NEN 5766). De geologie van de locatie wordt geanalyseerd met behulp van geologische karten.

Uiteraard zullen ook de resultaten van eerder verricht onderzoek deel uitmaken van het vooronderzoek.

Het hoofdonderzoek bestaat uit terreinonderzoek en laboratoriumonderzoek en heeft als doel het vaststellen van gegevens voor hydrologische en geotechnische berekeningen.

Dit onderzoek betreft het verrichten van geofysisch onderzoek, sonderingen, boringen en proeven ter vaststelling van de materiaaleigenschappen. Daarnaast zal ook onderzoek worden gedaan naar eventuele verontreinigingen in bodem en/of grondwater.

Geofysisch terreinonderzoek (zie ook [12], 4.1 en 4.3)

Met geofysisch onderzoek wordt bedoeld het verrichten van met name elektromagnetische metingen, waarmee discontinuïteiten van de dikte van het samendrukbare grondpakket kunnen worden getraceerd, in combinatie met boringen. Diepe sonderingen worden mechanisch uitgevoerd conform NEN 3680, waarvan een aantal met elektrische meting van kleef. Handsonderingen geven informatie over de draagkracht van ondiep gelegen lagen voor verdichting van de minerale afdichtingslaag.

Boringen kunnen zowel handmatig als mechanisch worden verricht. Bij een aantal mechanische boringen dienen ongeroerde monsters te worden genomen voor beproeving in het laboratorium. De boringen worden verricht conform NEN 5119. Classificatie van de grondmonsters geschiedt conform NEN 5104.

Laboratoriumonderzoek

Laboratoriumproeven worden verricht voor het bepalen van de volumieke massa (NEN 5111), samendrukbaarheid (NEN 5118) en schuifsterkte (NEN 5117) van de onderscheiden grondsoorten. Uit een evaluatie van proefresultaten volgt de representatieve waarde van de materiaalparameters. Na deling door de bijbehorende partiële materiaalfactor volgt de rekenwaarde van de parameter.

Verslaglegging van het onderzoek en onderzoeksresultaten geschiedt volgens NEN 6740.

Met behulp van de resultaten van het bureau-, terrein- en laboratoriumonderzoek kan een geotechnisch en hydrologisch profiel worden opgesteld, bestaande uit de gelaagdheid van de bodem, de bijbehorende materiaalparameters en de stijghoogte in de verschillende grondlagen.

2.2.2 Geotechnische berekeningen

Zettingen

De representatieve belasting van de ondergrond in de eindsituatie wordt als uitgangspunt genomen. Deze wordt verkregen door de hoogte inclusief eindafwerking bij het bereiken van de stortcapaciteit te vermenigvuldigen met de representatieve waarde van de volumieke massa van het stortmateriaal. De rekenwaarde van de belasting wordt verkregen door de representatieve waarde te vermenigvuldigen met de belastingfactor 1,20.

Voor de maatgevende grondprofielen worden de verwachte zetting en het zettingsverloop in de tijd berekend. Hierbij moet rekening worden gehouden met spanningspreiding van de belasting in de ondergrond. De rekenmethoden zijn beschreven in CUR-publikatie nr. 162: 'Construeren met grond' (zie ook [12], 4.1).

Het is mogelijk de zettingen die optreden tijdens de levensduur van de afdichtingsconstructie te beperken. Een methode om de zetting te verminderen is het ontgraven van samendrukbare grondlagen en deze te vervangen door een draagkrachtige en niet zettingsgevoelige laag.

In principe zal dit op elke locatie reeds geschieden met de bovengrond (teelaarde). Het volledig ontgraven van diepere lagen biedt slechts een oplossing bij een relatief dun (maximaal circa 2 m) samendrukbaar pakket gelegen op een zandondergrond.

Een andere methode betreft het tijdelijk aanbrengen van een voorbelasting ter plaatse van de toekomstige stortlocatie. Hiermee wordt bereikt, dat een gedeelte van de eindzetting reeds is opgetreden voordat met de aanleg van de onderafdichtingsconstructie wordt begonnen. Voor het ontwerp van de voorbelasting (hoogte ophoging en benodigde tijdsduur) worden geotechnische berekeningen verricht. Uitvoering van een voorbelasting vergt zorgvuldige begeleiding van een geotechnicus. Deze begeleiding omvat onder andere de controle van waterspanningen in het samendrukbaar pakket door plaatsen en waarnemen van waterspanningsmeters. Tevens worden zakbakens geplaatst die regelmatig worden gewaterpast. Het tijd-zettingsverloop wordt vergeleken met de prognose, die op basis van de metingen kan worden bijgesteld.

Indien de periode van voorbelasten te veel tijd in beslag zou nemen, kan worden overwogen het zettingsproces te versnellen door de ondergrond verticaal te draineren. Hierbij worden drains in een regelmatig patroon met een onderlinge afstand van 2 m à 4 m machinaal in de grond gebracht. In kwelgebieden mogen de verticale drains nooit reiken tot in de zandondergrond.

Een andere zettingsversnellende maatregel is het toepassen van een zogenaamde vacuümconsolidatie. Hierbij wordt door middel van een onder een folie aan te brengen onderdruk een snellere afstroming van het overspannen grondwater gerealiseerd, waardoor zetting die ontstaat door consolidatie sneller tot stand komt.

Stabiliteit

Met stabiliteit wordt onder andere bedoeld de macrostabiliteit van het stort, dat wil zeggen de weerstand tegen afschuiving van het stort langs glijvlakken in de ondergrond. De macrostabiliteit wordt berekend met de methode **5.1.2e** die is beschreven in CUR-publicatie nr. 162 (zie ook [12]).

De stabiliteit van de aanwezige bovenste grondlagen (in verband met het verdichten van de minerale afdichting) kan worden afgeleid uit de resultaten van handsonderingen.

De conusweerstand in een funderingslaag moet op een diepte van 0,10 m na verdichten minimaal 2,0 N/mm² bedragen. Indien dit in de aanwezige grondlaag niet kan worden gehaald, is het aanbrengen van een funderingslaag van zand (eventueel gestabiliseerd) noodzakelijk.

2.3 Relatie locatie en afdichtingsconstructies

Uit de resultaten van onderzoek en berekeningen kan worden afgeleid of de locatie voldoet aan de voorwaarden die zijn gesteld voor de referentie-locatie (zie 2.1 en 2.3.1). Indien dit niet het geval is dient de aanwezige bodem te worden geïnclassificeerd onder de hierna beschreven bodemtypen. Bij de verschillende typen bodem wordt aangegeven welke aanvullingen op de referentie-afdichting noodzakelijk zijn.

2.3.1 Referentie-locatie en referentie-afdichting

Als referentie-locatie geldt een gebied met de volgende kenmerken:

- de zettingen van de ondergrond als gevolg van belasting door het stortmateriaal zijn kleiner dan 0,25 m;
- er is sprake van een kwelsituatie (zonder dat hiervoor een onderbemaling nodig is) of er is sprake van geringe horizontale en verticale grondwaterstroming; de kwel is (bij voorkeur) zo groot, dat diffusief transport naar het 2^o watervoerend pakket wordt voorkomen;
- de stortzool ligt minstens 0,70 m boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), zonder dat hiervoor het terrein extra moet worden opgehoogd;
- de controledrains liggen op een niveau ruim onder polderpeil of de gemiddeld laagste grondwaterstand;
- een relatief dun watervoerend pakket (maximaal 10 m dik).

Bij een dergelijke locatie wordt een referentie-onderafdichtingsconstructie in combinatie met een goed functionerende bovenafdichting voldoende geacht om het vereiste beschermingsniveau te bereiken. De referentie-afdichting is opgebouwd uit een minerale afdichtingslaag, dik 0,50 m, daarop een geomembraan dik minimaal 2 mm en een drainagelaag, dik 0,50 m, met een percolaat-onttrekkingssysteem (model 1 in figuur 4).

Met deze bodembeschermende voorzieningen bedragen de lekverliezen niet meer dan circa 5 mm per jaar. De doordringingsdiepte van eventueel in de bodem geraakte verontreiniging blijft tot enkele meters beperkt, terwijl de maximale horizontale verspreiding van verontreinigingen tot hooguit 100 m waarneembaar is (zie [1]). Als op een bepaalde locatie dit beschermingsniveau niet kan worden bereikt, zullen voor zover effectief mogelijk extra voorzieningen nodig zijn, of is selectie van een andere, geschiktere locatie noodzakelijk.

Onderzoek moet worden verricht om te bepalen in welke mate de gekozen locatie voldoet aan de kenmerken, die zijn opgesteld voor de referentie-locatie (zie [2] (Stortbesluit), [3] (Uitvoeringsregeling) en [12]).

2.3.2 Zettingsgevoelige bodem

Zetting kan worden verwacht in gebieden waar slappe klei- en veenlagen voorkomen. Een voordeel van dergelijke grondlagen is dat het adsorptievermogen vaak groot is en de doorlatendheid meestal klein, zodat de verspreiding van verontreinigingen zeer traag verloopt.

De stortzool moet na zetting minimaal 0,70 m boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand liggen ([2]). Indien dit op een locatie met een zettingsgevoelige bodem zonder voorzieningen niet realiseerbaar blijkt, dient een ophoging te worden aangebracht. Hiervoor moet goed doorlatend materiaal worden gebruikt. Deze laag kan tevens dienen voor lekdetectie of worden gebruikt voor hydrologische drainage.

In geval van grote zettingen is ook de kans op aanzienlijke verschilzettingen groter. Deze dragen bij aan het falen van de afdichtingsconstructies door mogelijke scheurvorming in folies en deformaties van minerale afdichtingen.

Tevens kunnen percolaat- en controledrains defect raken door het optreden van zettingen. Een nadeel van slechte doorlatendheid is dat controle-drainage hier minder effectief is. Het kan daarom nodig zijn om onder de afdichtingslaag een drainlaag voor lekdetectie aan te brengen en/of drain-sleuven met zand op te vullen.

Indien de berekende zettingen groter zijn dan 0,25 m zijn twee categorieën te onderscheiden.

De eerste categorie betreft zettingen tussen 0,25 m en 0,50 m. Er zijn twee mogelijkheden:

- verzwaren van de afdichtingsconstructie door middel van een toeslag op de dikte van de minerale laag;
- aanbrengen van een voorbelasting, eventueel in combinatie met verticale drainage.

De tweede categorie betreft zettingen groter dan 0,50 m. In dit geval zal de restzetting door grondverbetering of voorbelasting moeten worden beperkt tot minder dan 0,25 m of, in combinatie met verzwaren van de afdichtingsconstructie, tot minder dan 0,50 m.

De in deze paragraaf genoemde aspecten gelden voor elk van de hierna te bespreken locaties.

2.3.3 Locaties in wegzijgingsgebieden

Hiertoe worden locaties gerekend in zowel zandgebieden waar het grondwater niveau relatief ondiep is als in poldergebieden waar een wegzijgings-situatie is ontstaan door aangrenzende diepbemalen polders. Het risico voor een oncontroleerbare verspreiding van stoffen in de bodem is hier groot.

De zandgebieden worden onderverdeeld in gebieden met een relatief slechtdoorlatende bovengrond op een watervoerend pakket en gebieden met een relatief goed doorlatende bovengrond. Bij aanwezigheid van een relatief slecht doorlatende bovengrond is de kans groot dat weglekkend perkolaat onder het stortterrein verticaal naar het goed doorlatend watervoerend pakket stroomt en dus diep in de bodem dringt. Is daarentegen de doorlatendheid van de bovengrond goed, dan wordt weglekkend perkolaat over het algemeen op een beperkte diepte, maar met een relatief grote snelheid zijdelings afgevoerd.

In poldergebieden zal vaak een bodemopbouw worden aangetroffen die bestaat uit een holoceen pakket (klei, veen met soms zandbanen) met een relatief slechte doorlatendheid op een relatief goed doorlatend watervoerend pakket. De dikte van de holocene laag varieert van enkele meters tot enkele tientallen meters. Het risico van bodemverontreiniging bestaat uit diep in de bodem doordringend, weglekkend perkolaat. Als gevolg van de slechte doorlatendheid en het adsorberend vermogen van de bovenste bodemlagen is de verplaatsingssnelheid van de verontreiniging gering. Is echter de verontreiniging eenmaal in het watervoerend pakket terecht gekomen, dan is de horizontale verplaatsing relatief snel.

De te treffen voorzieningen in wegzijgingsgebieden met een goed doorlatende bovengrond bestaan uit het standaardvoorzieningenniveau. Wel moet speciale aandacht worden besteed aan de verwachte verspreidingspatronen van in het grondwater geraakt, weglekkend perkolaat en de mogelijkheid dit via aanvullende voorzieningen (hydrologische isolatie) te onderscheppen.

De te treffen voorzieningen bij aanwezigheid van een slecht doorlatende bovengrond bestaan uit een kunstmatig aangebrachte, goed doorlatende laag tussen de oorspronkelijke bodem en de minerale onderafdichtingslaag (aanvulling op model 1, figuur 4).

In de goed doorlatende laag kunnen controledrains worden aangelegd, waarvan overigens wel is vastgesteld dat ze daadwerkelijk water kunnen afvoeren.

Bij falen van de isolerende voorzieningen kan de goed doorlatende laag als onderdeel van een hydrologische isolatie worden benut (model 3). Bij het ontwerp zal al moeten worden bepaald hoe een dergelijke hydrologische isolatie kan worden aangelegd en beheerd.

2.3.4 Locaties in kwelgebieden

In kwelgebieden ligt het freatisch niveau lager dan de potentiaal van de onderliggende grondlagen. Dit kan het geval zijn in diepe polders, waar de bodem meestal bestaat uit een slechtdoorlatend afdekkend pakket op de pleistocene zandondergrond. Een andere mogelijkheid is een laaggelegen zandgebied met soms matig waterdoorlatende leemlagen.

In laatstgenoemde locaties kan worden volstaan met de referentie-afdichtingsconstructie (model 1). Wel moet rekening worden gehouden met de minimaal vereiste drooglegging van de stortzool ter grootte van 0,7 m. Ook in de kwelpolders kan model 1 worden toegepast. Hier zal in de meeste gevallen vanwege de optredende zettingen een toeslag op de dikte van de minerale laag moeten worden toegepast (zie par. 2.3.2). Tevens zal een oplossing moeten worden gezocht voor afwatering van de grondlagen onder de afdichtingsconstructie. Het oorspronkelijke afwateringssysteem wordt verstoord door aanleg van de stortplaats.

2.3.5 Locaties in hydrologisch vlakke gebieden

Dit zijn locaties waar in de diepere ondergrond geen gebiedsströmung optreedt en de grondwaterstand relatief hoog ligt.

Hier kan worden volstaan met de referentie-afdichting model 1 als de zettingen kleiner zijn dan 0,25 m. Lekdetectie wordt aangebracht met drainbuizen of overeenkomstig werkende systemen onder de afdichting.

2.3.6 Locaties in afgravingen, groeven

In principe zijn deze locaties ongeschikt. Als toch een stort op een dergelijke locatie moet worden aangelegd, moet met extra voorzieningen het vereiste beschermingsniveau worden gecreëerd.

Als het diepste punt van de afgraving of groeve boven de grondwaterstand ligt, dienen dezelfde voorzieningen te worden getroffen als beschreven bij locaties in zandgebieden (par. 2.3.7.).

Dit houdt in, dat een tweede afdichtingsconstructie met drainlaag moet worden aangebracht (model 2, eventueel model 4). Lekdetectie is te realiseren via pompen of putten waarop controledrains zijn aangesloten. De afvoer van percolaat zal met pompen moeten geschieden.

Bij groeven of afgravingen onder het grondwater kan zonder voorzieningen niet aan de droogleggingseis worden voldaan. Het installeren van een onderbemaling van het grondwater is nodig om in de stortfase opbarsten van de onderafdichting te voorkomen.

Deze situatie moet als ongeschikt worden afgewezen, tenzij aanvulling plaatsvindt tot een niveau waarbij model 3 kan worden toegepast.

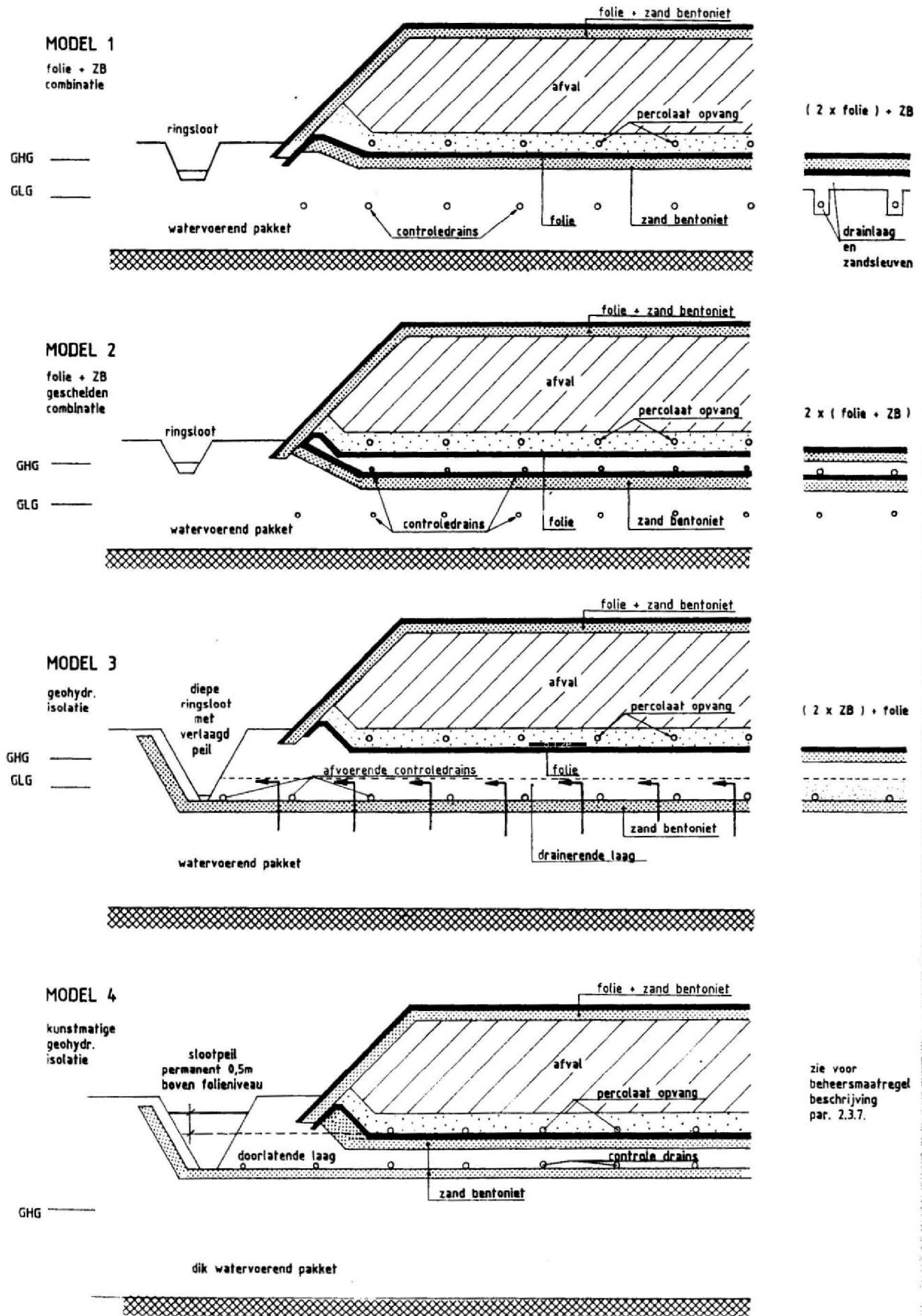
Daartoe is de aanwezigheid van een duidelijke GLG vereist.

Indien dat niet het geval is, zal aanvulling van de groeve nodig zijn tot een niveau waarbij model 4 wordt toegepast (als de situatie dat toestaat), en in het uiterste geval tot model 2.

2.3.7 Locaties in zandgebieden (met grondwater op grote diepte)

De eerste watervoerende laag ligt in zandgebieden dicht onder het maai-veldoppervlak. De transmissiviteit van deze laag (kD-waarde) is meestal groot. Het adsorberend vermogen van de grondslag is gering. De afstand tussen de stortzool en de grondwaterspiegel kan in hooggelegen zandgebieden meerdere meters bedragen. Door het relatief dikke watervoerend pakket vindt bij falen van de afdichtingsconstructie een onbeheersbare verspreiding van verontreinigingen plaats naar de omgeving. Controle op lekkage met drains is, zeker bij diepere grondwaterstanden, moeilijk te realiseren. Vanwege deze nadelen zijn dergelijke locaties in principe ongeschikt en voor een nieuwe locatie niet aanvaardbaar.

Als een bestaande locatie moet worden uitgebreid, moeten voorzieningen worden aangebracht om een optimaal haalbaar beschermingsniveau te verkrijgen. Als aanvullingen op de referentie-constructie dienen te worden toegepast een extra afdichtingsconstructie en drainagelaag. De extra afdichting ligt onder de eigenlijke afdichtingsconstructie en bestaat uit een folie op een minerale afdichting met een dikte van minimaal 0,50 m. Hierop wordt de extra drainagelaag met controledrains gelegd. De dikte en doorlatendheid van de drainagelaag moet zodanig zijn, dat de afvoer van weglekkend percolaat is gegarandeerd in geval van falen van de controledrains.



figuur 4 Onderafdichtingsconstructies

Deze constructie wordt als model 2 en alternatief op model 2 weergegeven in figuur 4.

De doorlatende laag boven de tweede afdichtingsconstructie kan worden benut voor kunstmatige hydrologische isolatie. Hierbij wordt in deze laag een potentiaal gehandhaafd, die hoger is dan de stijghoogte van het percolaat in het stort. Dit geschiedt door de drainagelaag in open verbinding te stellen met een ringsloot, die met een onderafdichting van het oppervlakte-water is gescheiden. De ringsloot wordt gevuld gehouden met regenwater, zonodig aangevuld met oppervlaktewater, tot een niveau van tenminste 0,50 m boven de eerste afdichting.

Deze constructie wordt als model 4 afgebeeld in figuur 4.

De stromingsrichting door de afdichtingsconstructie wordt door hydrologische isolatie omgekeerd.

Er stroomt water naar het stort, zodat emissie van verontreiniging naar de omgeving wordt tegengegaan. Het dimensioneren van de drainagelaag kan worden afgeleid uit [5] par. 4.4.

Indien de eerste afdichting faalt, zal de kunstmatige kwelsituatie leiden tot toetreden van grote hoeveelheden water tot boven de afdichting en direct onder de stortzool. Als beheersmaatregel geldt dan het zover mogelijk laten dalen van de grondwaterspiegel boven de tweede afdichting tesamen met een waterverplaatsing door (doorstroming van) de drainerende laag boven de tweede afdichting.

Deze situatie kan worden gecreëerd door de sloot langs één zijde van het terrein hydraulisch te scheiden van de drie andere zijden en in dit gedeelte een bemaling toe te passen.

2.4 Aanvullende maatregelen

In de voorgaande paragraaf zijn aanvullingen en alternatieven voor de "referentie-afdichtingsconstructie" behandeld waarmee op een niet-ideale locatie een voldoende hoog beschermingsniveau voor de bodem kan worden bereikt.

Naast de weergegeven voorzieningen kunnen andere isolatie-maatregelen of constructieve verzwaren noodzakelijk of wenselijk zijn ter verbetering of waarborgen van het functioneren van voorzieningen.

2.4.1 Grindlaag onder de stortzool

Deze grindlaag kan, indien de holle ruimte met lucht gevuld blijft, enige invloed hebben als diffusie-remmende voorziening. Op langere termijn en bij voldoende resterende holle ruimte kan de laag fungeren als drainerende laag in de situatie dat van het onderliggende zandbed en drainagesysteem de drainerende werking verloren is gegaan (zie [2]).

Ter scheiding van de grindlaag ten opzichte van afval respectievelijk zandbed kunnen hpe- of polyester wapeningsmatten worden toegepast met een maaswijdte van circa 5 mm. De grindlaag samenstellen uit grind 8-16 of 8-32. In deze functie dient afvoeren van het percolaat naar het percolaat-afvoersysteem langs de benedenstroomse zijde van het stortvak mogelijk te zijn.

2.4.2 Grindlaag onder de onderafdichting

Deze grindlaag kan, mits nagenoeg het gehele jaar vrij van grondwater en met voldoende luchttoetredingsmogelijkheid tot de laag, fungeren als diffusieremmende laag. Om aan de stabiliteit van de onderafdichting geen afbreuk te doen zal hier een redelijk uniform samengestelde grindlaag nodig zijn, opgesloten door niet of nauwelijks rekkende, fijn filterende geotextielen (bijvoorbeeld polyester). De luchttoetreding dient door een verbinding met maaiveldniveau te worden gewaarborgd.

2.4.3 Verzwaringen van minerale afdichtingslagen

Bij het detailleren van minerale lagen dient overwogen te worden of verzwaring van de laag als geheel of op bepaalde plaatsen in de laag (boven of onder) noodzakelijk is om falen, scheuren, stabiliteitsverlies e.d. te voorkomen.

Vergroten van de laagdikte kan worden overwogen wanneer lokaal in de constructie of over de gehele laag:

- zettingsverschillen in de bodem van de locatie als groot kunnen worden ingeschat;
- het zelfherstellend vermogen van de minerale laag reeds bij uitvoering of op langere termijn sterk wordt aangesproken;
- het verdichten van de minerale laag of de homogeniteit van de laag naar verwachting onvoldoende zullen zijn;
- aantasting van de laag door doortrekkende vloeistoffen (bijvoorbeeld bij hydrologische isolatie) waarschijnlijk is. Dit kan ook van toepassing zijn als de minerale laag geheel of gedeeltelijk onder GHG ligt en/of de aangrenzende bodemlaag voor bentoniet ongunstige condities heeft (bijvoorbeeld kalkgehalte, pH).

Afhankelijk van de aard en omvang van de bedreigingen danwel een samengaan van meerdere bedreigingen kan lokaal of over de gehele laag een verzwaring van 0,10 à 0,20 m noodzakelijk zijn. Vanuit constructief oogpunt zullen vooral hoekverdraaiingen in de minerale laag nadere beschouwing behoeven. Dit komt voor bij de overgang van vlakke lagen naar hellingen in kades of in de kruin van kades.

2.4.4 Toeslag op bentonietgehalte

Naast vergroten van de laagdikte kan alternatief of samengaand daarmee ook het verhogen van het bentonietgehalte in zandbentonietlagen noodzakelijk zijn. Naast motieven zoals vermeld in 2.4.3 hiervoor kan ook gedacht worden aan: langdurige wachtperioden tot aanbrengen opvolgende lagen, toepassen op hellingen en in kaden, gebrekkige controle op mengmethoden (zie ook [5], 5.2.3). In paragraaf 4.2.3 is gesteld dat het bentonietgehalte, in verband met verlies aan zweleigenschappen op lange termijn, dient te worden verhoogd met 1% (gewichtspcent) boven het door onderzoek bepaalde noodzakelijke percentage. Afhankelijk van aard en omvang van de bedreigingen kan daarboven een extra toeslag met 0,5 à 1,0% overwogen worden om de goede werking van de laag te waarborgen.

Vanuit de hier genoemde aspecten kan locatie-afhankelijk voor elk van de in par. 2.3 gegeven modellen afdichtingsconstructie een analyse plaatsvinden van potentieel sterk bedreigde plaatsen of onderdelen van de constructies.

Gezien de beperkte ervaringen met afdichtingsconstructies dient bij twijfelgevallen vooralsnog voorrang te worden gegeven aan het daadwerkelijk ontwerpen en uitvoeren van compenserende maatregelen.

3 CONTROLEVOORZIENINGEN

3.1 Functie

De controle op de hoedanigheden van de bodem dient voorafgaand aan ingebruikname plaats te vinden zowel wat betreft (indien mogelijk) de vaste bestanddelen als het grondwater 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 middel van een horizontaal drainagesysteem het meest doelmatig.

Naast een horizontaal systeem is ook een verticaal systeem noodzakelijk. Dit speelt met name een rol wanneer een horizontaal systeem in een bepaalde locatie niet effectief zou zijn, en op langere termijn, aangezien aannemelijk is dat het horizontaal systeem verloren zal gaan.

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, of door verdunning niet kan worden gedetecteerd in de filters groter dan bij drainagebuizen.

Indien binnen de als norm gestelde maximum waarnemingsperiode (signalerings-tijd) in een bepaalde bodemsituatie geen waarneming mogelijk is, dienen berekeningen voor periodiek te bemalen controlesystemen te worden uitgevoerd. Met dergelijke systemen kan de controle mogelijk wel voldoende effectief blijken te zijn.

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

De controle op de grondwatersamenstelling dient per drain en per peilfilter 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 [12] en par. 3.2.3. hierna).

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, het opvang-, verzamel- en afvoersysteem voor percolaat en voorzieningen voor van taluds afstromend regenwater. Aanwijzingen voor uit te voeren onderzoek, hydrologisch schematiseren van de bodem, berekeningen en ontwerp van de controlevoorzieningen zijn opgenomen in document [12] (Richtlijn drainagesysteem en controlesystemen grondwater).

3.2 Richtlijn voor opbouw en materiaal

3.2.1 Algemeen (zie [12], 4.3 en bijlage 1 en 3)

De werking van een controlesysteem berust op het signaleren van grondwaterverontreiniging door percolaat dat uit de opslag- of 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.

Tesamen met factoren die samenhangen met de aard van de stort en het afval wordt bepaald:

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

Voor beide typen controlesystemen worden (model-)berekeningen uitgevoerd ter bepaling van de signaleringstijd en de optredende verdunning in het grondwater (zie [12], bijlage 1 en 3).

In principe is een combinatie van een horizontaal controlesysteem met een verticaal systeem vereist, waarbij het falen van een bodemafdichtende voorziening aanzienlijk eerder kan worden geconstateerd met het horizontale systeem dan met het verticale systeem.

Overigens wordt opgemerkt, dat bij een dik watervoerend pakket en een hoge dichtheid van het percolaat ook een horizontaal controlesysteem kan falen (zie ook hoofdstuk 2).

De ligging van het horizontale controledrainagesysteem dient tenminste 0,40 m onder de GLG te zijn, tenzij hiervan moet worden afgeweken op grond van geohydrologische overwegingen. Hiermee wordt bereikt dat ook bij lage grondwaterstanden nog voldoende controlemogelijkheid resteert. De legrichting van het horizontale systeem dient zoveel mogelijk haaks op de grondwaterstromingsrichting te zijn.

De onderlinge drainafstand dient bij een horizontaal systeem in verband met het optreden van verdunning in de bodem en bij het bemonsteren te worden gesteld op 5 m. Aangezien controle, reiniging en bemonstering per drain mogelijk dient te zijn kan aansluiten van 2 à 3 drains op de schacht van een inspectieput worden toegepast. Bij bemonstering dient de grondwaterspiegel over een hoogte van tenminste 0,50 m te worden verlaagd (zie [12], bijlage 1).

Dit betekent, dat onder drainniveau een afvoerleiding door de bemonsteringsputten noodzakelijk is naar een pompput (zie figuur 2 en 3). Voor reiniging (en ook zonodig bemonstering) dienen de controledrains vanaf beide zijden toegankelijk te zijn.

3.2.2 Opbouw en materiaal controledrainage

Het horizontale systeem van controledrainage wordt samengesteld uit:

- een net van evenwijdige drains met omhulling;
- bemonsterings-/inspectieputten waarop de drains kunnen afvoeren;
- een doorspuitopening aan het andere eind van de drain;
- een afvoerleiding naar een pompput.

Bij de keuze van het materiaal voor de controledrains kan in principe worden gekozen voor landbouwdrains van PVC. Wanneer rekening wordt gehouden met het mogelijk falen van de onderafdichting van een stort ontstaat evenwel de keuze voor een resistenter materiaal als polypropyleen (P.P.) of HDPE. Dit is een theoretische benadering aangezien door de sterke verdunning in het grondwater de concentraties voor materiaal-agressieve stoffen zeer gering zullen zijn. Bij gebruik in zettingsgevoelige gronden gaat de voorkeur uit naar toepassen van flexibele ribbelbuis boven de relatief stijve HDPE-buis. Vanuit de huidige materiaalinzichten zijn voor de technische levensduur geen duidelijke verschillen aan te geven. Bij situering in draagkrachtige grond is geen sterkteberekening noodzakelijk, in zeer slappe grond kan dat (met name voor HDPE) wel noodzakelijk zijn. De pvc- en pp-buizen zijn uitgevoerd als geperforeerde ribbeldrains diam. uitwendig 100 mm (voor pvc NEN 7036, perforatie type A), respectievelijk diam. 110 mm.

Bij keuze voor HDPE-drains is uitvoering uit gladde HDPE-buis diam. 110 of 160 mm gewenst, klasse B, met ronde perforaties diam. circa 4 mm of sleufvormige perforatie met een breedte van circa 3 à 4 mm. Het omhullingsmateriaal bestaat voor alle typen bij voorkeur uit polypropyleenvezels klasse A (PP 700) met een gemiddelde dikte van tenminste 7 mm.

Het opgaande gedeelte buis naar het bovenstrooms van de afvoerrichting aanwezige doorspuitpunt kan ongeperforeerd worden uitgevoerd. De drains worden horizontaal of met gering afschot (0,1%) aangelegd.

Ribbelrain wordt in lengten van meer dan 100 m op een rol geleverd. Koppelen van einden vindt plaats met klikmoffen. HDPE is in diameters tot en met 160 mm eveneens op rol leverbaar in dichte uitvoering. Voor zover bekend is dat voor gesleufde buis niet mogelijk. Koppelen van buiseinden kan plaatsvinden met lasmoffen of buisklikstukken (zie 5.3.3). De minimum lengte van buizen dient gesteld te worden op 10 m.

Het materiaal voor bemonsterings-/inspectieschachten kan bestaan uit pvc, polyester of beton. In alle gevallen dient met verkeersbelasting direct naast de schachten rekening te worden gehouden.

De putten worden bij voorkeur naast rijroutes geplaatst.

Het is niet strikt noodzakelijk de breedte van de schacht te dimensioneren op afdalen in de put. In het algemeen geldt voor bemonsteren en visuele controle op afstromen van de drains een minimum-breedte van 300 mm bij een niveau van de drainaansluiting tot circa 2 m onder maaiveld.

Bij grotere diepte (hoogte van de schacht) wordt een grotere breedte toegepast, hetgeen ook geldt voor 3 of meer aansluitingen op één schacht.

De uitmondingen van de drains in de schachten dienen zodanig te worden uitgevoerd dat uitstromend water kan worden opgevangen.

Daartoe dient de wanddoorvoering tenminste tot 30 à 50 mm binnen de schachtwand te worden doorgetrokken.

De doorspuitopening aan de overliggende zijde van de drain kan met een passend kunststof deksel tegen verontreiniging worden afgesloten. Het doorspuitpunt dient voldoende bedrijfszeker te worden beveiligd en gemarkeerd. Hiervoor kan een tegel of straatpot worden toegepast, alsmede een kunststof of houten paal ter markering. Op de paal kan het drainnummer of dergelijke vermelding worden aangebracht. Monsternamen en doorspuiten van elke controledrain moet vanaf twee zijden mogelijk zijn. Bij drainlengten korter dan 300 m is doorspuiten en monsternamen vanaf één zijde zonnodig toelaatbaar (bijzondere situaties).

Drainlengten groter dan 600 m zijn niet toegestaan, omdat doorspuiten dan niet meer mogelijk is.

Afhankelijk van het oppervlak en de situering van de stort, en de geohydrologische situatie, wordt een berekening uitgevoerd voor het af te voeren debiet tijdens een bemonsteringsronde van het horizontale drainagesysteem. Op basis van deze berekening worden de afvoerleiding en de pompput gedimensioneerd.

3.2.3 Opbouw en materiaal verticaal systeem

Benedenstrooms dient het net van verticale waarnemingspunten een raai met peilbuizen te omvatten, die zonder gevaar voor beschadiging of verstoring zo dicht mogelijk tegen de rand van de opslag of stort wordt 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 grondwaterstroming dient nader te worden vastgesteld.

In principe zal deze onderlinge afstand, in de raai gemeten, circa 25 m dienen te bedragen om ook opsporing van lekkage nabij de rand van het terrein mogelijk te maken.

Indien de eerste fase van realisering van het stortterrein op redelijk grote afstand (enige honderden meters) van de benedenstroomse terreinbegrenzing plaatsvindt, en de grondwaterstromingssnelheid gering is (< 5 m/jaar) kan in eerste instantie een net met onderlinge afstanden van 100 m worden geplaatst.

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. Dit kan ook leiden tot afstanden korter dan 25 m.

Uit een modelmatige benadering van verspreidingsbeeld en verdunning op een locatie kunnen mogelijk nadere aanwijzingen worden verkregen (zie [12]).

Een verticaal waarnemingspunt bestaat uit een boorbuis (boormantel) met daarin een aantal kunststof buizen diam. 50 à 75 mm, afgestemd op het aantal benodigde controleniveaus in de bodem.

De niveaus van controle worden bepaald op grond van de bodemopbouw en de dikte van één of meer watervoerende lagen (zie [12], 4.3). Op elk berekend controleniveau is een filterbuis (geperforeerd of gesleufd buisstuk), lang 1 à 2 m noodzakelijk om water te laten toetreden.

De buisgedeelten boven elk filter worden dicht uitgevoerd, terwijl de waarnemingsniveaus van elkaar worden gescheiden door het aanvullen van het boorgat met slecht doorlatend materiaal.

De boorbuis wordt geheel of nagenoeg geheel verwijderd.

Om ook periodiek het waarnemen (peilen) van het ondiepe grondwater-niveau of stijghoogten te kunnen uitvoeren wordt de bovenzijde van de verschillende buizen gewaterpast en vastgelegd ten opzichte van NAP.

Rondom de groep buizen wordt ter bescherming op maaiveldniveau voorzien in een of meer straatpotten, of bovengrondse beschermkappen uit stalen buisstukken.

Het materiaal voor filterbuizen kan bestaan uit PVC en HDPE.

In gevallen waarbij er sprake is van een bijzondere geohydrologische situatie, bijvoorbeeld een zeer diepe grondwaterstand, kunnen eveneens afwijkingen nodig zijn van het normale controlesysteem. Daarbij kan gedacht worden aan een aangepaste (verzwaarde) onderafdichtingsconstructie (zie hoofdstuk 2) of andere percolaat-detectiesystemen, alsmede aan controle door middel van een systeem met pompputten of bemalen filters. Dit laatste systeem kan ook ingeschakeld worden als beheersmaatregel. Ook bij niet-bemalen putfilters in een min of meer "normale" grondwatersituatie 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. De put- of filterafstanden voor bemaling worden gebaseerd op een uit te voeren hydrologische berekening, waaruit ook de benodigde bemalingstijd blijkt (zie [12]).

3.3 Richtlijn voor uitvoering

3.3.1 Uitvoering horizontaal systeem

Omdat een horizontaal systeem dient te liggen onder het grondwater-niveau kan de aanleg van ribbel drainage plaatsvinden met een draineermachine (nat aanbrengen) of met graafmachines waarbij veelal bronbemaling nodig zal zijn. Bij aanleggen van de drains met een draineermachine kan een maximale diepte van 4 à 5 m worden bereikt.

Bij grotere diepte van de laagste grondwaterstand dient een ander controle-systeem te worden ingericht tenzij voor het aanleggen daarvan het maaiveld tijdelijk wordt verlaagd. De stijve HDPE-drain kan alleen met open sleuf-technieken worden aangebracht, zodat daarvoor een grondwaterstandsverlaging (bemaling) noodzakelijk is. Het aanvullen van de drainsleuven kan in redelijk tot goed doorlatende zandgrond plaatsvinden met uitgekomen materiaal. In slecht doorlatende en ongerijpte gronden dient sleufaanvulling plaats te vinden met goed doorlatend drainagezand. In geval van een slecht doorlatende laag tussen de onderafdichting en het drainniveau dient eveneens door zandaanvulling toestromen naar de drains te worden gewaarborgd.

De sleufaanvulling dient te worden verdicht tot een vastheid die overeenkomt met de omringende bodem.

3.3.2 Uitvoering verticaal systeem

In het algemeen zullen filters op zodanig grote diepte noodzakelijk zijn, dat aanbrengen door middel van een boorstelling of door middel van een pulsrichting nodig zal zijn. Handboringen reiken in het algemeen niet dieper dan tot 4 m onder maaiveld, afhankelijk van de aard van de grondsoort in de ondiepe bodem. Plaatsingsdiepten voor het diepste filter op meer dan 25 m onder maaiveld komt in de Nederlandse bodemsituatie regelmatig voor. Na plaatsen van de waarnemingspunten vindt doorgaans een pompproef en reiniging plaats.

4 COMBINATIE-AFDICHTING

4.1 Functie

De afdichtingsconstructie is met name tijdens de periode met het grootste regenwateroverschot (infiltratie) belangrijk voor de bodemisolatie: het beheersen en zoveel mogelijk voorkomen van infiltratie van vervuild water naar de bodem. Zolang op een afvalberging nog geen bovenafdichting is aangebracht betekent dit een overschot van circa 300 à 400 mm per jaar. Na aanbrengen daarvan zal de infiltratie beperkt zijn tot maximaal 20 mm/jaar (minerale laag) en bij een goed functionerende combinatiebovenafdichting in het algemeen minder dan 5 mm/jaar (zie [4] en [5]).

4.2 Richtlijnen voor opbouw en materiaal

4.2.1 Algemeen

De belangrijkste functionele eis die aan een afdichtingsconstructie wordt gesteld, is de dichtheid voor vloeistoffen. Hiervoor is (tot nu toe) door het Ministerie van VROM geen getalsmatige invulling gegeven. Er moet worden gestreefd naar absolute dichtheid, maar in de praktijk is deze eis alleen haalbaar voor een synthetische afdichting onder theoretische omstandigheden. Voor een minerale afdichtingslaag wordt overeenkomstig de huidige stand der techniek een maximale lekkage onder ontwerp-(veld)-omstandigheden gehanteerd van 20 mm/jaar, en onder laboratoriumomstandigheden een maximaal lekkage van 7 mm/jaar. Onder ontwerpomstandigheden wordt verstaan een waterkolom van 0,5 m, een minerale laag dik 0,5 m en een onderdruk onder de laag van 30 mBar. Als veldconditie voor de minerale laag geldt de in het veld optimaal te bereiken kwaliteit van de laag.

De duurzaamheid van de constructie is bepalend voor de dichtheid op lange termijn. Deze is afhankelijk van de fysische eigenschappen en de chemische resistentie van de verschillende onderdelen. De fysische eigenschappen, met name bij hogere temperaturen (tot circa 40° C), zijn belangrijk in verband met het materiaalgedrag bij belasting op trek in geval van ongelijkmatige zettingen.

Synthetische afdichtingsmaterialen (geomembranen) zijn in principe ondoorlatend voor stroming van vloeistoffen ten gevolge van een hydraulische gradiënt. Er blijft wel een 'restdoorlatendheid' voor verschillende stoffen in de vorm van permeatie ten gevolge van een concentratieverschil over de afdichting (diffusie). De bereikte waterdichtheid is afhankelijk van het optreden van incidentele fouten zoals beschadigingen en/of verbindingfouten. Deze hangt dus ten nauwste samen met maatregelen ter verkrijgen van voldoende zekerheid en controle op de realisatie (zie [7] en [8]). Een geomembraan is een relatief stijf element in een afdichtingsconstructie. Bij verschilzakking treden spanningen op in meerdere richtingen tegelijk, die op de lange duur het geomembraan kunnen doen scheuren. Omdat een geomembraan geen zelfherstellend vermogen bezit, is blijvende lekkage het gevolg.

Synthetische materialen zijn chemisch vergaand inert. Het contact met geconcentreerde zuren en alkaliën moet worden vermeden. Daarnaast is de resistentie of ondoorlatendheid van HDPE tegen gechloreerde en aromatische koolwaterstoffen matig of slecht te noemen.

Minerale afdichtingsmaterialen zijn nooit absoluut waterdicht. De waterdichtheid hangt af van de hoeveelheid en absorptiecapaciteit van zwellende minerale deeltjes. Daarnaast is de homogeniteit, vochtgehalte en bereikte verdichting bij het aanbrengen van het materiaal uitermate belangrijk. Ook hier dienen dus maatregelen te worden genomen ter verkrijgen van voldoende zekerheid en dient de realisatie te worden gecontroleerd (zie hoofdstuk 9 en document [13] en [14]).

Een minerale afdichtingslaag is een plastische, meevormende constructie. Kleine scheuren worden gedicht door zwelling van het materiaal. Vanwege dit zelfherstellend vermogen wordt de duurzaamheid van een minerale afdichting hoger ingeschat dan die van een synthetische afdichting. Proefondervindelijk is aangetoond dat de doorlatendheid van een minerale afdichting door chemische inwerking van kalkrijke oplossingen en diverse basische en zure chemicaliën op de lange duur kan toenemen. Contact met verdunde organische koolwaterstoffen heeft hierop geen effect.

Uit het bovenstaande blijkt, dat geen garantie kan worden gegeven dat een afdichtingsconstructie vloeistofdicht is en op de lange termijn ook dicht blijft. Op basis van huidige ervaringen mag wel worden verwacht dat een minerale afdichtingslaag op de lange duur beter weerstand biedt tegen infiltratie en mechanische belastingen dan een synthetische afdichtingslaag. Op de korte termijn (naar schatting 30-40 jaar) is de doorlatendheid van een synthetische afdichting in een onderafdichting echter geringer dan de lekkage door een minerale afdichting (minder dan 5 mm/jaar ten opzichte van maximaal 20 mm/jaar).

Combinatie-afdichting: extra zekerheid wordt geboden als wordt uitgegaan van een combinatie-afdichting, die is opgebouwd uit een synthetische laag in direct contact met een minerale laag. Stromingsprocessen door de minerale laag ten gevolge van een hydraulische gradiënt vinden alleen plaats in de omgeving van scheuren in de synthetische laag. De gemiddelde lekkage per eenheid van oppervlakte wordt hierdoor gereduceerd ten opzichte van de situatie met een enkelvoudige afdichtingsconstructie of het gescheiden toepassen van beide afdichtingslagen. Een drainerende tussenlaag doet dit effect teniet en de toepassing daarvan wordt om die reden afgeraden in onderafdichtingen (zie [5], 5.7 en [1], 4.1).

De synthetische laag wordt boven de minerale laag geplaatst. De volgende criteria zijn bepalend voor de keuze van de volgorde van constructielagen:

- vloeistofdichtheid:
Gedurende de stortperiode (tot aanbrengen van bovenafdichting) is het raadzaam de meest resistente en vloeistofdichte laag boven te leggen.
- chemische resistentie:
De doorlatendheid van minerale lagen neemt toe bij chemische inwerking van kalkrijke oplossingen en diverse basische en zure chemicaliën.

Indien grote hoeveelheden percolaat met dergelijke stoffen worden verwacht dient een minerale laag daartegen te worden beschermd. De synthetische laag boven de minerale laag dient in de opsluitende kaden te worden doorgetrokken.

- uitvoeringsaspecten:

Ook ten aanzien van de uitvoeringsaspecten geldt dat een synthetische laag als bovenste constructielag de voorkeur verdient.

Verdichting van minerale laag zal op de synthetische laag minder goed verlopen dan op een fundering (bodem). Het verdichtingsproces is minder effectief, omdat door verminderde wrijving aan de onderzijde van de minerale laag grotere zijdelingse verplaatsingen zullen optreden (wegpersen minerale laag).

Tijdens het verdichtingsproces ontstaan grote spanningsconcentraties ter plaatse van de randen van de verdichtingsapparatuur. Een onderliggend geprojecteerde synthetische laag kan hierdoor plaatselijk grote rekken vertonen en zelfs scheuren. Verdichten dient in die situatie daarom zorgvuldig te worden uitgevoerd.

4.2.2 Opbouw en materiaal synthetische afdichtingslaag

De richtlijnen voor synthetische afdichtingsmaterialen zijn ontleend aan [8]. Het toegepaste materiaal moet voldoen aan de geschiktheidseisen die zijn gesteld in 9.2. HDPE-folie is geschikt om als afdichtingslaag in een onderafdichting te worden opgenomen. In verband met de vereiste sterkte en de betrouwbaarheid van het lasproces bedraagt de minimum dikte 2,0 mm, exclusief oppervlaktestructuur.

In verband met de eis het aantal veldlassen te beperken, moeten de aangeleverde rollen tenminste 5 m breed zijn waarbij voor onderafdichtingen geldt, dat op een breedte van 10 m niet meer dan één las mag voorkomen (zie [8], 5.5). De bovengrens voor de breedte bedraagt 10 m in verband met de hanteerbaarheid. De lengte van de strook folie op de rol moet zodanig groot zijn, dat de noodzaak op locatie dwarslassen te maken zo veel mogelijk wordt vermeden.

Synthetische afdichtingslagen zijn gevoeliger voor mechanische beschadiging (bijvoorbeeld doorponsen) dan minerale afdichtingen. Synthetisch afdichtingsmateriaal heeft nauwelijks herstelcapaciteit na een beschadiging, dit in tegenstelling tot natuurlijke afdichtingsconstructies. Men dient dan ook extra voorzieningen ter bescherming van een synthetische laag te treffen als deze onder de minerale laag wordt aangebracht.

Hiertoe moet de funderingslaag met aangepaste korrelstructuur (maximale afmeting 5 mm, bij voorkeur 3 mm) worden uitgevoerd of een non woven geotextiel worden toegepast onder de synthetische laag (zie [4], 4.2).

Uit oogpunt van stabiliteit is het niet nodig folie toe te passen met oppervlaktestructuur. Indien wel een profilering wordt toegepast zal ook aan de onderzijde een profilering noodzakelijk zijn.

Indien een folie op hellingen wordt toegepast (bijvoorbeeld berging in groeven) kan om stabiliteitsredenen een profilering wel noodzakelijk zijn (zie ook [4]).

4.2.3 Opbouw en materiaal minerale afdichtingslaag

De geschiktheid van het beschikbaar materiaal voor afdichting wordt bepaald op grond van de resultaten van het laboratoriumonderzoek. Hierin is minimaal opgenomen het onderzoek dat is genoemd voor het afdichtingsmateriaal in 10.1 van dit document.

Zand-bentoniet (zie [5], 3.3 en 4.3)

De waterdichtheid van dit mengsel berust op de zwelcapaciteit en waterbindend vermogen van het kleimineraal montmorilloniet in bentoniet. Geschikte montmorilloniet-houdende bentonietsoorten zijn Amerikaanse 'Wyoming' bentoniet (met hoge Na⁺-bezetting) en geactiveerde (met Na⁺ behandelde) Europese Ca²⁺- bentoniet (zie [5], 3.3). Het maximum calciumgehalte van het bentoniet bedraagt 0,5%.

Om een goede menging met het bentoniet te verkrijgen, moet het zand structuurloos zijn en een enkelvoudige korrelstructuur hebben. Het zand moet kunnen worden gekarakteriseerd als matig fijn tot matig grof ($150 \mu\text{m} < M_{50} < 500 \mu\text{m}$) en mag enigszins leemhoudend zijn (leemfractie tot 18%), mits menging met het bentonietpoeder goed mogelijk blijft. Er moet sprake zijn van een ruime korrelgradering met een uniformiteitscoëfficiënt u (D_{60}/D_{10}) in de orde van grootte van 3 of meer (zie [5], 3.2). Het organisch stofgehalte (humusgehalte) en het kalkgehalte mogen niet groter zijn dan 0,5%, omdat deze stoffen het zwelvermogen van het bentoniet en dus de waterdichtheid van het zand-bentonietmengsel doen afnemen. De zuurgraad van het zand hangt samen met het kalkgehalte. De pH-KCl moet liggen tussen 4,5 en 8 (zie [5], 3.3).

Bentoniet moet mineralogisch worden onderzocht ter bepaling van het gehalte aan zwellende kleimineralen overeenkomend met de smectieten-groep (zie [5], 3.3). Aan de bentoniet wordt de eis gesteld, dat tenminste 75% van de deeltjes zwellende eigenschappen dienen te bezitten. Aan het zandbentoniet-mengsel wordt de eis gesteld dat daarin tenminste 5% gewichtsprocenten zwellende deeltjes dienen voor te komen. Het gewichtspercentage bentoniet in het mengsel met zand bedraagt bij het onderzoek dus minimaal 5%. Het kan oplopen tot 6 à 8%, afhankelijk van het percentage smectieten binnen de bentoniet. Ook een geringe waarde van de uniformiteitscoëfficiënt zal het percentage bentoniet doen toenemen.

Om het verloren gaan van zwelvermogen door diverse mogelijke oorzaken over langere perioden te compenseren dienen de basiseisen te worden verhoogd met 1%.

De verdichting is sterk bepalend voor de vloeistofdichtheid. De mogelijkheden voor verdichting van het zand-bentoniet mengsel moeten tijdens het vooronderzoek op het laboratorium (en in het veld in een proefvak) worden getest (zie 9.1.5).

Hierbij wordt de maximale droge dichtheid bepaald met het daarbij behorende optimaal vochtgehalte.

Grond die gemengd wordt met bentoniet moet (voor menging) tenminste verdicht kunnen worden tot een droog volumegegewicht van 1700 kg/m^3 (zie [5], 3.7).

De plasticiteitsindex moet minstens 35% bedragen om een goede verkneding van het materiaal mogelijk te maken. Dit is tevens een belangrijke parameter voor de bestendigheid van het materiaal tegen ongelijkmatige zettingen. Met behulp van doorlatendheidsproeven wordt nagegaan of het optimaal verdichte zand-bentoniet mengsel geschikt is als afdichtingsmateriaal (zie 9.1). De hierbij aangehouden stijghoogtegradiënt dient met ontwerp-condities overeen te komen en dient te worden vermeld bij de resultaten. De waterdichtheid van de minerale afdichtingslaag moet worden aangegeven met de jaarlijks te verwachten lekkage in millimeters per jaar.

Het zoutgehalte van het toegepaste zand moet kleiner zijn dan 0,1 gewichtsprocent.

De minimale dikte van een zand-bentoniet afdichting bedraagt netto effectief 0,50 m. Voor uitvoeringsfouten, onvlakheid aan boven- en onderzijde, plaatselijk sterke belastingen, gevolgen van bodemzettingen, e.d. kan compensatie in de vorm van extra laagdikte noodzakelijk zijn (zie [5], 5.2 en 2.4 hiervoor).

Klei

Onderzoek met natuurlijke, zware kleisoorten heeft aangetoond dat ook bepaalde kleien met sterk zwellende kleimineralen geschikt kunnen zijn voor afdichting.

Het lutumgehalte moet groter zijn dan 35%. Deze lutumfractie moet voor meer dan 15% bestaan uit zwellende mineralen overeenkomend met de smectietengroep. De plasticiteitsindex moet minstens 35% bedragen.

Het materiaal moet verdicht kunnen worden tot een droog volumegewicht van minstens 1500 kg/m³ (zie [5], 3.2 en 3.7, en [1]).

Een afdichtingslaag die uit een dergelijke kleisoort bestaat moet dikker worden uitgevoerd dan een zand-bentonietafdichting. De minimale dikte (netto-effectief) bedraagt 0,50 m. Boven de kleilaag dient eveneens een drainerende zandlaag aanwezig te zijn om de gradiënt te beperken.

4.3 Richtlijnen voor uitvoering

4.3.1 Uitvoering synthetische afdichtingslaag (zie [8])

Synthetische afdichtingsmaterialen moeten direct na aanleg worden geballast. Vervolgens moeten ze na lassen en controle afgedekt worden met een laag drainerend materiaal om mechanische beschadiging of kwaliteitsvermindering te voorkomen. Deze werkzaamheden moeten zorgvuldig worden uitgevoerd, zodat plaatselijk hoge belastingen, alsmede slagen en knikken in de folie worden vermeden.

De kwaliteit van synthetische afdichtingsconstructies wordt in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van de lasnaden. Dit geldt zowel voor de fabrieklassen als voor op het werk aangebrachte lassen.

Na het leggen en lassen van de afdichtingsconstructie is het noodzakelijk om alle lassen te controleren op lekdichtheid.

Dit kan gebeuren door afpersen van dubbele lassen, afvonken, ultra-sonoor onderzoek en vacuümklek.

De lassterkte op de lange duur moet op het werk worden beoordeeld door het verrichten van afpelproeven en trekslagproeven (zie ook 9.2 en 10 hierna).

Bij het uitvoeren van afpelproeven moet blijken, dat beide vlakken van de las tenminste over 4/5 van de lasbreedte hebben gehecht. De minimum trekslagsterkte bedraagt voor HDPE 250 kJ/m².

Bepaalde weersomstandigheden kunnen de kwaliteit van laswerk negatief beïnvloeden. Meer nog dan luchttemperatuur spelen wind en bewolking een grote rol. Bij een open hemel wordt de folie ook in koude periodes beter "opgewarmd", waardoor homogeniteit in laswerk het best wordt gewaarborgd. Afkoeling door langsstrijkende wind heeft hierop maar een beperkte invloed. Als vuistregel kan worden aangehouden:

- bij een open hemel en een geringe wind (snelheid <3Bft) kan ook bij lage luchttemperaturen (0 tot +5°C) nog goed laswerk ontstaan;
- bij een bewolkte hemel en een matige wind (circa 5Bft) kunnen bij een luchttemperatuur van circa +10°C reeds problemen ontstaan (veel lasfouten, reparaties);
- bij regen kan geen laswerk worden uitgevoerd; een hoge luchtvochtigheid of dauw kan bij bewolkte hemel en lage luchttemperatuur ook tot problemen leiden;
- bij matige en sterke wind (> 5Bft) kunnen door wind-erosie lichte zanddeeltjes ter plaatse van het te lassen oppervlak (overlap) terechtkomen; indien wordt gewerkt in de buurt van gronddepots of fijnzandige materialen kan daardoor wind een beperking inhouden bij overigens goede werkomstandigheden.

Op een niveau van 8 m en meer boven maaiveld zal de windinvloed groter zijn dan op maaiveldniveau en constant aanwezig zijn. Dit betekent, dat de factor "open hemel" op grotere werkhogte meer bepalend zal worden en mogelijk als een voorwaarde voor laswerk moet worden gezien. Dit kan een beperking inhouden voor werkomstandigheden voor een folie als tussenafdichting bij ophogen van bestaande oude stortterreinen. Een ervaren controleur zal de situatie per dag kunnen beoordelen en daardoor het risico van twijfelachtige las-kwaliteit kunnen beperken.

Naast een beoordeling op weersomstandigheden wordt op het werk dagelijks voor aanvang van uitrollen en laswerkzaamheden een proeflas gemaakt, waarbij ook de optredende weersomstandigheden kunnen worden getoetst. In twijfelgevallen dient aan risico-beperking voorrang te worden gegeven. Bij het uitrollen van kunststoffoliën kan veel wind (5Bft en meer) problemen veroorzaken in verband met het opwaaien van de folie.

4.3.2 Uitvoering minerale afdichtingslaag (zie [5], 5.5.4)

Zand-bentoniet

Een goede homogeniteit van een zand-bentoniet mengsel wordt verkregen door het vooraf te mengen in een dwangmenger. Goede ervaringen zijn opgedaan met mengen in een aangepaste asfaltinstallatie of betonmixer. Tijdens het mengproces dient opnieuw water te worden toegevoegd, omdat zand en bentoniet zich droog slecht laten mengen. Bij het bepalen van het bentonietverbruik moet ervan worden uitgegaan, dat de droge volumieke massa van het mengsel na verdichten bij geschikte zanden minimaal 1800 kg/m³ bedraagt.

Het vochtgehalte van het zand-bentoniet mengsel moet overeenkomen met het optimale vochtgehalte voor verdichting, dat is bepaald tijdens het geschiktheidsonderzoek.

Met diverse verdichtingsmachines en methoden wordt de optimale verdichtingsmethode en verdichtingsgraad bepaald, waarbij een optimale proctordichtheid van tenminste 1850 kg/m^3 in het veld bij geschikte zanden als ondergrens wordt gesteld (zie ook 9.1 en 10).

De gemiddelde waarden voor de minimum droge dichtheid en verdichtingsgraad die bij verwerken van het mengsel in een proefvak worden gevonden dienen vervolgens in het uitvoeringsgereed plan als eis te worden gehanteerd. Zonodig dient herhaling van het onderzoek en proefvak plaats te vinden met zand van een geschiktere samenstelling teneinde een betere ondoorlatendheid te realiseren.

Klei

Ontgraven en transporteren van klei moet op een zodanige wijze geschieden dat het natuurlijk vochtgehalte gehandhaafd blijft en de homogeniteit zo mogelijk nog wordt verbeterd.

Veldcontrole minerale lagen

Voor beide minerale materialen geldt dat de verdichtingsgraad in-situ moet worden gecontroleerd met gebruikmaking van de steekringmethode, uitgevoerd conform Standaard RAW Bepalingen, Hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 4.4. Deze moet op hellingen minimaal 97% van de proctordichtheid bedragen en op vlakke gedeelten minimaal 100% van de proctordichtheid (zie [5], 4.3 en 5.6.4).

De meest praktische en constructief meest gewenste methode van aanbrengen is het afdichtingsmateriaal eerst horizontaal op de vlakke bodem langs een kade en direct aansluitend (geen lange wachttijden) vanaf de teen van een kade omhoog te werken. Dit kan met behulp van een bulldozer of een hydraulische kraan of in horizontale lagen met een spreidmachine. De afdichtingslaag dient bij droog weer te worden aangebracht, omdat bij regen het terrein onbegaanbaar wordt voor mens en machine. Bovendien neemt met name bij harde regenval op flanken van kades en in vlakke gedeelten de kans op erosie en uitspoeling van de fijne deeltjes toe.

Om deze redenen moet elke dagproductie zandbentoniet-mengsel en HDPE-folie voor het einde van de werkdag zoveel als mogelijk zijn afgedekt met de opvolgende laag (3 werkgangen binnen één werkdag), of zonodig tijdelijk op het zandbentonietoppervlak een beschermende folie worden gelegd. Na aanbrengen van de minerale laag in en op een kade kan de laag in de bodem van een stortvak worden aangebracht.

5 PERCOLAAT-ONTTREKKINGSSYSTEEM

5.1 Functie

Door het onttrekken van percolaat kan het ontstaan van stijghoogte van dit verontreinigde water worden voorkomen en daarmee de hoeveelheid emissie (mm/jaar) gering worden gehouden (zie 9.1.7).

In de drainagelaag direct boven de onderafdichting dient het drainerende zand samen met het ontwateringssysteem ter afvoer van het (vervuilde) neerslagoverschot.

Een andere functie van de drainagelaag betreft de bescherming van de afdichtingsconstructie tegen beschadiging door stortactiviteiten en grove delen in het afval.

Ontwerp en materiaalkeuze maken deel uit van document [12], "Richtlijn drainagesystemen".

5.2 Richtlijnen voor opbouw en materiaal

(zie [1], hoofdstuk 4 en [12], 4.2 en bijlage 4)

5.2.1 Richtlijn voor opbouw

Algemeen (zie figuur 2/3)

Op de onderafdichting, die aan de bovenzijde wordt begrensd door een geomembraan, wordt een laag drainerend zand aangebracht ter dikte van 0,50 m. Alternatief kan een laag drainerend zand, dik 0,30 m, met daarop 0,20 m grind worden toegepast (Stortbesluit).

In het zandbed worden een (vooraf berekend) aantal onderling evenwijdige strangen van drainbuizen aangebracht.

Na graven van de drainsleuf en inbedden van de drains in een dunne resterende zandlaag, worden de sleuven aangevuld met grind tot een grindkoffer.

Om beschadiging van de onderliggende afdichtingen te voorkomen dient ter plaatse van de grindkoffer een resistent non-woven geotextiel met een hoge doorpansweerstand te worden gelegd alvorens de zandlaag aan te brengen.

In het algemeen wordt een stortterrein aangelegd door het na elkaar realiseren van stortvakken, die onderling hydraulisch van elkaar gescheiden zijn door tussenkaden.

Parallel aan de tussenkaden wordt een afschot in de bodemafdichting aangebracht van 0,25 à 0,50% (exclusief compensatie voor verschillen in bodemzetting) om de afstroming van percolaat over de afdichting en in de drains te bevorderen. Aan boven- en benedenstroomse zijde van de drains worden koppeldrains aangebracht en met de afvoerende drains verbonden. Voor inspectiemogelijkheid en reiniging worden de afvoerende drains tweezijdig en koppeldrains enkelzijdig door middel van dichte gebogen buisstukken verlengd tot in de opsluitende kaden. De doorspuitopeningen worden afgezet met een kunststof deksel en een straatpot.

Het uit een stortvak verwijderen van percolaat kan plaatsvinden door middel van een in de afdichtingsconstructie op te nemen controleerbaar doorvoerstuk of door middel van het pompen uit een binnen het stortvak te plaatsen kleine pompput met een persleiding over de kade.

Buiten de stortvakken wordt een HDPE afvoerleiding (diam. 200 à 250 mm) aangebracht met HDPE-inspectieputten ter plaatse van de stortvak-afvoeren.

In de stortvak-afvoer wordt binnen het stortvak direct voor het doorvoerstuk een HDPE-inspectieschacht opgenomen, terwijl buiten het doorvoerstuk door middel van het plaatsen van een afsluiter voorzien kan worden in het afsluitbaar maken van elk stortvak. Bij afvoeren door middel van pompen uit een stortvak is een dergelijke afsluiting uiteraard niet van toepassing.

Bij aanleg van stortterreinen in bijvoorbeeld groeven zal voor het percolaatsysteem een radiale legrichting soms onvermijdelijk zijn. Daarbij worden de drains vanaf de buitenzijde van het afgedichte oppervlak naar een (vaak a-centraal geplaatste) inspectietoren gelegd, van waaruit onderhoud en afvoeren van percolaat plaatsvindt.

Alternatieven zijn ontwikkeld in de vorm van een beloopbare tunnel (boven of onder de onderafdichting), waarin de percolaatdrains (en controlesystemen) uitmonden.

Ontwerp

In [12], 4.2 en bijlage 4 is nader ingegaan op ontwerpaspecten van de drainagelaag en het drainagesysteem, en zijn figuren opgenomen. Een algemene rekenwijze is gegeven in [5], 4.4 en [1], par. 4.0.

Als belangrijkste ontwerprichtlijn geldt:

- drainafstand zodanig dat een opbolling van niet meer dan 0,30 m tussen de drains optreedt boven de afdichting;
- minimum ontwerp-debiet 4 mm per etmaal. Bij voorkeur enige reservecapaciteit inbouwen voor nadelige invloeden uit het afval en/of geheel of gedeeltelijk uitvallen van een drain. Daartoe kan het berekenings-debiet worden gesteld op circa 8 mm per etmaal (zandbed, drainagesetstel);
- de grindkoffer ter plaatse van de drains en koppeldrains ruim dimensioneren;
- maximale lengte drains in verband met reiniging te stellen op 300 m; voor toegankelijkheid van een inspectiecamera is een minimale inwendige diameter vereist van 130 mm;
- verhang van de buizen 0,25 à 0,50%, identiek aan dat van de onderliggende afdichting.

Op basis hiervan wordt een onderlinge drainafstand van 15 m aangehouden.

Voorts dient berekening plaats te vinden op basis van mechanische en chemische belastingen en dient controle en onderhoud mogelijk te zijn.

De aangebrachte HDPE-schachten en de doorspuitpunten zullen bij aanbrengen van de bovenafdichting moeten worden verlengd om inspectie en reiniging ook op langere termijn te kunnen uitvoeren.

5.2.2 Richtlijn voor materiaal

5.2.2.1 Zand voor drainagelaag

De geschiktheid van het mineraal materiaal voor de drainagelaag wordt bepaald op grond van de resultaten van laboratoriumonderzoek dat voor de betreffende constructielaag is vermeld in 9.1.

Met het oog op de ontwateringsfunctie moet het mineraal materiaal bestaan uit goed doorlatend, matig grof zand (doorlatendheid tenminste 10 m/etmaal), mediaandiameter M50 tussen 210 μm en 420 μm). Het gehalte aan minerale deeltjes door zeef 63 μm (leemfractie) van de fractie door de zeef 2 mm mag ten hoogste ten hoogste 5% bedragen. De minimum laagdikte bedraagt 0,50 m om voldoende bescherming te kunnen bieden aan de afdichtingsmiddelen.

Aanbevolen wordt binnen de gestelde grenzen voor drainagezand te kiezen voor:

- fractie op zeef 250 μm > 70%;
- fractie op zeef 500 μm > 30%.

Om beschadigen van het onderliggende geomembraan te voorkomen, dient een maximum korrelafmeting van 5 mm te worden aangehouden. Overwogen kan worden het zand af te zeven op 3 mm.

Het zand moet kalkarm (kalkgehalte < 1%, pH-KCl tussen 4,5 en 8) zijn om het teruglopen van de waterdichtheid van een onderliggende natuurlijke afdichtingslaag te voorkomen. Om dezelfde reden dient het zoutgehalte van het in het zand aanwezige water kleiner te zijn dan 1500 ppm.

5.2.2.2 Grindkoffer

Grind

In [12], bijlage 4, is nader ingegaan op mogelijkheden voor de samenstelling van de grindkoffer ter plaatse van de drains. De keuze van de grindafmetingen is afhankelijk van het al dan niet toepassen van de "filterregels van 5.1.2e

- zonder filterregel: grindafmeting op basis van een sleufbreedte van 6 mm in de drains kiezen op de afmeting 8-32 of 16-32 mm, waarmee een zo open mogelijke omhulling wordt bereikt;
- met filterregel: de koffer samenstellen uit de fractie 16-32 of 8-32 mm direct rond de drainbuizen, met daarbuiten een aanvulling van fijner grind met een ondermaat van 4 mm.

Een verdere verfijning tot grind met een ondermaat van 2 mm is theoretisch mogelijk, waarmee aansluiting aan de korrelafmeting van zand wordt bereikt.

Bij het dan bereikte filter ontstaat evenwel het risico van verstopping door microbiologische en chemische afzettingen, vaak gecombineerd met fijne deeltjes uit het afval. In algemeen geldt hierbij, dat het veiliger is enige inspoeling van fijne deeltjes tot in de drain te accepteren (die door reinigen kunnen worden verwijderd) dan het risico van stagnatie van percolaat door dichttrekken van filters te introduceren.

De grindkoffer ruim dimensioneren, waarbij de bovenkant ruim boven de bovenzijde van het zandbed dient te liggen.

Geotextiel ter bescherming van de folie

Ter plaatse van de grindkoffer wordt bij het graven van de drainsleuf ruim 50 mm zand gehandhaafd om daarin de drainbuizen te kunnen "inbedden". Ter plaatse van de grindkoffer ontstaat daardoor het risico van contact tussen grind en geomembraan. Om dit te voorkomen dient reeds voor aanbrengen van het zandbed een resistent non-woven doek op de folie te worden aangebracht met een hoge doorponsweerstand.

Gekozen kan worden voor een polypropyleen non-woven doek met een gewicht van 500 gr/m².

De breedte afstemmen op de grootste breedte van de grindkoffer, waarbij een minimumbreedte geldt van 1,50 m.

5.2.2.3 Percolaatdrains en schachten

In [12], par. 4.2 en bijlage 4, zijn ontwerp en selectiecriteria voor het percolaat-drainagesysteem opgenomen. Dit resulteert in de volgende richtlijnen:

- een stelsel van evenwijdige gladde, gesleufde HDPE-drains met een maximale onderlinge afstand van 15 m;
- de sleuf-vormige perforatie in de buizen haaks op de lengterichting van de buis over maximaal 2/3 van de omtrek, en met een breedte van 5 of 6 mm; het totaal open oppervlak van de perforatie door de sleuven kan worden gesteld op circa 8% ten opzichte van het totaal binnenoppervlak van de buis (meer verzwakt de buis teveel);
- het stelsel samenstellen uit gladde HDPE-buizen (gesleufd), diameter minimaal 110 mm voor afvoerende drains en minimaal 160 mm voor koppeldrains.
Buisklasse minimaal B (0,6 MPa); bij grotere belastingen C (1,0 MPa). Buislengte minimaal 10 m. Voor een goede reiniging, reserve-capaciteit en toegankelijkheid van een inspectiecamera kan worden overwogen het gehele stelsel in diameter 160 of 200 mm uit te voeren;
- het onderling verbinden van buizen kan plaatsvinden met een zogenaamde elektrolasmof in lange uitvoering, of moffen in de vorm van lange klikbuisstukken (minimale lengte 0,50 m, inschuiflengte 0,25 m beide einden) uit bij de drainbuisdiameter passende, iets grotere gladde HDPE-buis.
Bij toepassen van elektrolasmoffen dienen alle buiseinden over een lengte van circa 0,15 m ongesleufd te zijn;
- nabij kaden kan het wenselijk zijn wat langere klikbuisstukken op te nemen voor het zonder schade mogelijk maken van expansie of geringe verplaatsing van drainstrangen (inschuiflengte buiseinden blijft 0,25 m);
- voor reiniging en inspectie dienen de drains en koppeldrains met gladde, dichte HDPE-buis te worden verlengd. Deze buisdelen worden over de kaden naar buiten doorgelegd en daar ter markering voorzien van een straatpot; drainlengte maximaal 300 m;
- ter plaatse van de aansluitingen drain-koppeldrain-doorspuitstuk zal een T-stuk of kruisstuk noodzakelijk zijn.
Deze hulpstukken dienen minimaal dezelfde sterkteklasse te hebben als de drainbuizen en de reinigingsapparatuur goed te geleiden;
- afhankelijk van de aard van het afval kan een voorziening noodzakelijk zijn die het toetreden van lucht tot het drainstelsel tegengaat (verminderen oxidatieprocessen).

- Een dergelijk voorziening (waterslot) bij voorkeur plaatsen buiten het stortvak in de afvoerende leiding (eenvoudiger in uitvoering, bereikbaarheid); de doorspuitpunten voorzien van goedsluitende eindkappen;
- binnen en buiten de eindkade wordt de kadedoorvoering begrensd door een inspectieschacht. Voor inspectiedoeleinden op langere termijn (nazorgfase) is het gewenst ook aan de overliggende (bovenstroomse) zijde binnen het stortvak een inspectieschacht op te nemen. De schachten kunnen worden opgebouwd uit gladde HDPE-buis diam. 630 mm met aangelaste bodem en wandinlaten;
 - indien het drainagesysteem is opgenomen in de gasonttrekking de eindkappen luchtdicht uitvoeren en dichte tussendecksels op inspectieputten toepassen (zie hoofdstuk 8).

Buiten de stortvakken kan een dichte afvoerleiding het verdere transport van percolaat verzorgen naar een pompput, een eigen zuivering of in een enkel geval wellicht naar openbare riolering.

Alle in de afvoerleiding te plaatsen inspectieputten hebben een zodanig hoogte dat de bovenzijde op één niveau ligt met de kruinhoogte van de afdichting (folie) in de stortkaden (voorkomen overlopen percolaat) of zijn hoger. Deze eis geldt in principe ook voor de te plaatsen pompput(ten). In de inspectieputten buiten de stortvakken kan een zandvang worden toegepast. De doorvoering van de percolaatafvoer door de eindkade wordt behandeld in hoofdstuk 6.

5.3 Richtlijnen voor uitvoering

5.3.1 Non-woven geotextiel

Voorafgaande aan het aanbrengen van het drainagezand kan de positie van de percolaatdrains op het geomembraan worden uitgezet.

Hier wordt het gekozen geotextiel aangebracht zodanig dat het midden van de strook geotextiel samenvalt met de hart-positie van de drain.

Om verwaaien of schuiven te voorkomen dient het doek te worden gebalast met zand. Gezien de grote rek van non-woven geotextielen wordt aanbrengen daarvan over het gehele folie-oppervlak en op kaden ontraden. Deze rek veroorzaakt instabiliteit in het zandbed tijdens en na aanbrengen daarvan.

Indien hier toch voor wordt gekozen, dient het aanbrengen van het drainagezand met bijzondere aandacht te worden uitgevoerd om beschadigingen en ongewenste belastingen van de afdichting te voorkomen.

5.3.2 Drainagezand

Afgestemd op de voortgang van het aanbrengen van de onderafdichting (zie par. 1.3.2) wordt het zandbed over het gehele oppervlak van de onderafdichting aangebracht. Ter plaatse van transportroutes voor zandaanvoer dienen op de laag dik 0,50 m rijplaten te worden toegepast. Voor een transportroute zonder rijplaten is een minimum zanddikte van 0,80 m vereist.

Om opbolling van de folie te voorkomen, wordt het zand met de bak van een graafmachine op de folie gelegd.

Opduwen van het drainagezand (met bijvoorbeeld een bulldozer) is niet toegestaan. Bij voorkeur worden grondverzetmachines op rups gebruikt. Na aanbrengen van het zandbed worden daarin op de vooraf uitgezette plaatsen (ter plaatse van het geotextiel) sleuven gegraven voor de percolaat-drainage en grindkoffer. De randen van de bak van de graafmachine worden daarbij voorzien van een rubberafdekking om beschadigingen te voorkomen.

Nadat de drainagemiddelen zijn aangebracht, moet de drainagelaag worden verdicht.

Conusweerstand, verkregen met een handsondeerapparaat, moeten in vlak terrein, op 0,10 m onder het oppervlak van de laag, een waarde hebben van minimaal 1,8 N/mm².

Op kaden heeft het aanbrengen van een afdekking op de afdichtende folie door middel van (steenrijke) humeuze grond de voorkeur boven het toepassen van drainagezand. Gebleken is, dat de erosiebestendigheid (water- en lucht) en de stabiliteit van drainagezand te gering zijn voor toepassing op steile hellingen (< 1:2,5).

5.3.3 Percolaat drainagesysteem

De sleuven in het zandbed kunnen worden gegraven met een standaard profielbak met taluds 2:3 of 1:2, waarin vervolgens de drains en de grind-aanvulling kunnen worden aangebracht. Alternatieve oplossingen kunnen noodzakelijk zijn, indien een samengestelde grindkoffer (verschillende grindafmetingen naast elkaar) moet worden aangebracht.

Bij het aanbrengen van de drainbuizen dient extra zorg te worden besteed aan het inbedden van de dichte onderzijde van deze buizen in het aanwezige laagje zand. Met name bij kunststofbuizen is het verzorgen van een goede oplegging van groot belang voor het tegengaan van pletten en ovaal worden door de toekomstige bovenbelasting. Bij sterkteberekeningen wordt in principe uitgegaan van een realiseerbare opleghoek van 120°.

Het koppelen van buizen en hulpstukken gebeurt bij klikbuisstukken door beide te koppelen einden over 0,25 m¹ lengte in de klikmof lang 0,50 m te brengen. De in het buisstuk aangebrachte nokken ("klikken") grijpen in de sleufperforatie en voorkomen het uit de verbinding schuiven van de (buis)-einden. (Lange) elektrolasmoffen zijn aan de binnenzijde voorzien van windingen van koperdraad. Door hierop een elektrische voeding aan te sluiten, vindt door de sterke temperatuurontwikkeling versmelten plaats met de buitenzijde van de te lassen drainbuis-einden. Op de verbinding is geen goede controle mogelijk. De lastijd dient per type lasmof te worden bepaald. Bij overmatige verhitting kan verbranden van lasmof en buiseinden optreden. Gezien de beperkte inschuiflengte per buiseinde in de lasmof (circa 70 mm) is bij een slechte lasverbinding het uit de mof geraken van een buiseinde al snel mogelijk. Naast expansie kan in drainreeksen ook krimp optreden, terwijl gebleken is dat bij het stortbedrijf naast verticale belasting ook krachten in het horizontale vlak kunnen optreden. Een goede kwaliteitsborging is bij het toepassen van elektrolasmoffen noodzakelijk om tot een acceptabele verbinding te kunnen komen.

6 OPSLUITENDE KADEN

6.1 Functie

Een stortvak wordt begrensd door kaden die dienen ter opsluiting van afval en percolaat.

Daartoe wordt de onderafdichting over een zekere (vloeistofkerende) hoogte hellend in de kaden aangebracht (zie figuur 2/3).

Onderscheid dient te worden gemaakt in eindkaden en tussenkaden.

Eindkaden bevinden zich ter plaatse van de toekomstige buitenzijde van de stort, tussenkaden vormen een hydraulische barrière tussen 2 aangrenzende stortvakken.

Hoewel doorgaans bij het storten van de eerste laag afval niet tegen de (eind-)kaden wordt (mag worden) gestort (zie ook hoofdstuk 7), kan een kade ook als steunende grond dam worden gezien.

Bij voortgaand stortbedrijf wordt het afvallichaam over de tussenkaden aangebracht. De hydraulische scheiding fungeert dus alleen over de vloeistofkerende hoogte van de tussenkaden.

Bij aanbrengen van de bovenafdichting zijn alleen de eindkaden van belang. In [4] (Richtlijn dichte eindafwerking) en [5] (Handleiding ontwerp dichte eindafdekking) is het aansluiten van de dichte eindafwerking op de eindkade behandeld (teenconstructie).

Uitwerking daarvan en grafische weergave is opgenomen in hoofdstuk 7 met figuur 6 en [5], 5.3. Essentieel in het kader van de eindafwerking is het aanbrengen in de eindkade van de bovenafdichting direct op de onderafdichting.

Daartoe wordt een deel van de kade-afdekking (buitenzijde bovenbouw) ontgraven.

Aangezien het aanleggen van stortterreinen doorgaans in fasen ter grootte van 2 à 3 stortvakken geschiedt, zullen enkele tussenkaden per stortterrein tijdelijk een functie als eindkade hebben.

Hierdoor kunnen deze tussenkaden in hun vormgeving enigszins afwijken van de overige tussenkaden.

Per stortvak wordt een afvoer aangelegd voor percolaat.

Daarbij kan voor een afvoerleiding door de kade worden gekozen danwel een persleiding over de kade. Met name de eerste oplossing zal hierna worden behandeld.

De tweede oplossing vraagt geen bijzondere kade-voorzieningen.

De aanleghoogte van eindkaden kan naast de genoemde scheidende functie (percolaat en afval) ook nog worden beïnvloed door andere milieu-effecten. Hiertoe zijn te rekenen visuele hinder en geluidshinder voor de omgeving.

Voor een afschermdende werking ter beperking van deze vormen van hinder bij aanbrengen van de eerste stortlaag is vaak een kadehoogte van 2,5 à 3 m boven de stortzool noodzakelijk, die bereikt kan worden door de bovenbouw dikker uit te voeren.

6.2 Richtlijn voor opbouw en materiaal

6.2.1 Opbouw tussenkaden

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd bij de opbouw van een tussenkade (zie figuur 5):

- de kade dient een hydraulische barrière te vormen voor percolaat op de onderafdichting;
- de kade dient voldoende stabiel te zijn in de situatie dat de teen van het talud van een afvallichaam eenzijdig (bedoeld of onbedoeld) tot op de flank van een kade zou rusten (stabiliteit);
- de kade en de zich daarop bevindende delen van de onderafdichtingsconstructie dienen bestand te zijn tegen de belasting van het daarop rustende grond- of afvallichaam (stabiliteit, draagkracht);
- in een tussenkade die tijdelijk als eindkade fungeert zal bij voorkeur over de gehele vloeistofkerende hoogte de combinatie-onderafdichting aanwezig zijn;
voor de andere tussenkaden kan in een enkel geval worden overwogen alleen de hdpe-folie als kerend element te laten fungeren en de minerale laag vlak te houden. De voorkeur gaat uit naar het behouden van het direct contact tussen synthetische en minerale laag (zie par. 1.1);
- indien een gering hoogteverschil (circa 0,20 m) wordt toegepast tussen eindkaden en tussenkaden, dient de tussenkade die tijdelijk fungeert als eindkade de hoogte van de eindkaden te krijgen.

De vloeistofkerende hoogte van de kade aan de bovenstroomse zijde bedraagt in standaardgevallen 1,00 à 1,50 m. Onder kerende hoogte wordt verstaan de verticale afstand tussen het niveau van het hoogste punt van de bovenste afdichtingslaag in de kade en het niveau van de onderafdichting in de bodem van een stortvak. De absolute hoogte van de stortkade is groter, omdat op de kade de afdichting nog wordt afgedekt met een beschermlaag van grond met een dikte van 0,75 m (bovenbouw). Het kade-lichaam onder de afdichting wordt onderbouw genoemd.

Het niveau van de bovenzijde van de afdichting in de kaden moet rondom een stortvak gelijk zijn. De kerende hoogte van de eindkade aan de "benedenstroomse zijde" kan vanwege het afschot van de onderafdichting daardoor oplopen tot circa 3,0 m (figuur 2/3).

Voor de tussenkaden betekent dit een hoogteverloop over de lengte van een stortvak. In een folie-legplan dient hiermee rekening te zijn gehouden. Alternatief kan worden overwogen de kerende hoogte in tussenkaden 0,20 m lager uit te voeren, zodat bij een onverwacht hoge percolaatspiegel in enig stortvak percolaatoverloop plaatsvindt naar een naastgelegen stortvak en niet over de eindkaden. Aan het opvangen van dit hoogteverschil nabij eindkaden dient bij het leggen en lassen van de folie bijzondere aandacht te worden besteed.

De breedte van de afdichting op het hoogste niveau in de kade (kruin afdichting) bedraagt in verband met (verticale) buigstralen in de folie tenminste 1 m.

Deze buigstralen, groot minimaal 0,50 m bij een hoekverdraaiing van maximaal 45°, en bij voorkeur nog ruimer, dienen ook aan de teen van een kade te worden toegepast.

Bij de aansluiting van de tussenkaden aan de eindkaden dienen voor een geleidelijke overgang in de folie ruime horizontale rondingen te worden toegepast. De horizontale straal daarvan dient op bodemniveau (teen kade) tenminste 5 m te bedragen (combinatie hoekverdraaiing 90° en helling in de kadetaluds).

De maximale helling van het kadetalud van tussenkaden bedraagt 1:2 in geval de minerale afdichting laagsgewijze over het talud wordt aangebracht en verdicht. Steilere taluds zijn mogelijk onder de voorwaarde dat de minerale afdichting in dunne horizontale lagen (dik circa 0,30 m) tegen de onderbouw van de kade wordt "gestapeld", danwel dat de onderbouw geheel uit mineraal afdichtingsmateriaal wordt opgebouwd. De minimum breedte van deze lagen bedraagt 1,5 m in verband met het horizontaal uitvoeren van verdichten van het minerale materiaal (figuur 5).

Indien de minerale afdichtingslaag niet in tussenkaden wordt omhooggevoerd, doch vlak wordt aangelegd, zal de onderbouw moeten worden opgebouwd uit voldoende draagkrachtig materiaal.

Afmeting van de onderbouw, aard van het ophogingsmateriaal en voldoende schuifweerstand over het oppervlak van de minerale laag zijn factoren die in een stabiliteitsbeschouwing dienen te worden betrokken.

De bovenbouw van kaden kan het beste met humeuze grond worden uitgevoerd, zodat stabiliteit ontstaat en grasvegetatie tegen watererosie goed mogelijk is.

6.2.2 Opbouw eindkaden

Hetgeen hiervoor is vermeld voor tussenkaden is overeenkomstig van toepassing voor eindkaden.

Daarnaast gelden voor eindkaden nog de volgende uitgangspunten:

- de onderbouw van kaden dient met het oog op stabiliteit indien mogelijk te bestaan uit onvergraven grond;
- de (combinatie) onderafdichting dient aan de buitenzijde van een eindkade zodanig te worden aangelegd dat:
 - de helling daarvan overeenkomt met de voorziene helling van de bovenafdichting (landschapsplan);
 - deze over een zodanige lengte aanwezig is dat voldoende aansluitlengte (overlap) ontstaat tussen boven- en onderafdichting (minimaal 0,50 m);
- de grondafdekking over de onderafdichting in een eindkade (bovenbouw) behoeft aan de buitenzijde niet noodzakelijkerwijs dezelfde helling te hebben als de onderafdichting ter plaatse.
De grondafdekking is immers tijdelijk (tot het moment van bovenafdichten) aanwezig. Keuze vindt plaats op basis van stabiliteit, zodat doorgaans een helling van 1:1,5 of 1:2 voldoende zal zijn wanneer erosie voldoende kan worden voorkomen;
- langs de buitenzijde van de eindkaden dient het maaiveld naar buiten afwaterend te worden aangelegd. Mede hierdoor kan te hoge waterspanning in de kade en daarmee instabiliteit worden voorkomen.

Waar een inspectieschacht van het percolaatdrainagesysteem of van een percolaatafvoerleiding dicht tegen of gedeeltelijk in een eindkade is gesitueerd, wordt ter verhoging van de stabiliteit een verbreding van de kade toegepast.

Een schacht binnen het stortvak zal bovendien bij bovenafdichten vaak met een aantal meters worden verlengd, zodat stabiele opstelling essentieel is. Voor deze schacht geldt dat de verbreding van de kade op kruinniveau van de bovenbouw wordt uitgevoerd. Daarmee is ook voldoende zekerheid ontstaan voor horizontale belastingen tijdens het stortbedrijf en is de schacht voor inspectie goed toegankelijk.

Een schacht in een (percolaatafvoer-)leiding buiten de kade zal met deze leidingen bij voorkeur zodanig gesitueerd worden dat geen (onnodige) doorvoering door de bovenafdichting ontstaat en leiding c.a. voor reparatie bereikbaar zijn. Voor een dergelijke schacht zal daarom slechts een beperkte verbreding van de eindkade nodig zijn.

In [12], 4.2 is de gecontroleerde doorvoering van de percolaatafvoerleiding in een eindkade weergegeven. Het prefab vervaardigde HDPE-doorvoerstuk wordt op een voldoende stabiele legvloer geplaatst. Zo nodig wordt hiervoor gestabiliseerd zand toegepast.

Het geomembraan van de combinatie-afdichting wordt op de daarvoor bestemde plaatsen aan het doorvoerstuk gelast. De minerale laag wordt onder, naast en achter het doorvoerstuk verzaamd uitgevoerd om te voorkomen dat de plaats van doorvoering een zwakke plek in de afdichting zou betekenen.

Om de "kamer" in het doorvoerstuk te kunnen controleren op lekkage aan de intree-zijde van de percolaatafvoerleiding wordt aan de achterzijde van het doorvoerstuk voorzien in een HDPE controle-leiding diam. 75 mm. Op het eind van deze controle-leiding wordt een schacht (diam. 300 mm of groter) geplaatst waarin eventueel in de kamer toegetreten percolaat kan worden waargenomen. Overwogen kan worden om een lekflens kort achter het doorvoerstuk (nog in het afdichtende minerale materiaal) aan de controle-leiding en aan de percolaatvoerende leiding te plaatsen.

6.2.3 Materiaal voor stortkaden

Voor de onderbouw dient goed te verdichten materiaal te worden gebruikt, dat na aanbrengen en verdichten weinig klinkt en onder bovenbelasting weinig zetting vertoont. Als primair materiaal komt zand in aanmerking. Als secundair materiaal kan gegraneerd puin worden toegepast. Dit puin mag niet te grof zijn (gradering 0/20 mm) en moet uniform zijn wat betreft de granulaire samenstelling. Met name voor eindkaden geldt dat de onderbouw als klankbord moeten dienen voor het verdichten van de minerale afdichting, wanneer deze als laag over de kade wordt aangebracht. Voor de onderbouw betekent dit, dat een conusweerstand van tenminste $1,8 \text{ N/mm}^2$ noodzakelijk is (handsondeerapparaat). Deze eis geldt ook voor de onderbouw van tussenkaden uit ophoogmateriaal op de minerale onderafdichtingslaag. Aangezien hierbij de folie op het ophoogmateriaal wordt gelegd geldt een maximale korrelafmeting van 5 mm.

Bij het stapelen van mineraal afdichtingsmateriaal in smallere kaden geldt de verdichtingseis ook voor het eindresultaat van deze minerale opbouw.

De bovenbouw van de kade zal aan de binnenzijde doorgaans op het zandbed van drainagezand aansluiten, zodat hier ontwatering is gewaarborgd. In verband met de noodzaak tot grasvegetatie dient de te gebruiken grond voldoende humeus en doorwortelbaar te zijn.

Voor stabiliteit dient enige verdichting plaats te vinden. Aangezien direct contact met de hdpe-folie ontstaat dient het materiaal steenvrij te zijn (korrelafmeting maximaal 5 mm).

De kadeverbreiding voor schachten aan de binnenzijde wordt met zand uitgevoerd om voldoende vastheid en stabiliteit voor de schachtopbouw te bieden.

6.3 Richtlijn voor uitvoering

Het aanbrengen of ontgraven en profileren van de onderbouw van de kaden kan plaatsvinden na het installeren van de horizontale controle-drainage (hoofdstuk 3) in de bodem.

Wanneer bij de onderbouw van eindkaden gebruik kan worden gemaakt van onvergraven grond, mag de teelaardelaag daarvan geen deel uitmaken om onnodige zetting te voorkomen.

Het aanbrengen van de bovenbouw op de afdichting in een kade dient met de nodige aandacht te geschieden om onnodige trekbelastingen in de folie te voorkomen (opbouwen van beneden naar boven). Met de bak van een graafmachine wordt de grond op de flanken en op de kruin van de kade gelegd.

Verdichten vindt plaats met een trilplaat.

De doorspuitpunten van de percolaatdrains (dichte hdpe-buizen, doorgaans voorgebogen) en de persleidingen voor het verpompen van percolaat (indien van toepassing) worden met een tussenruimte van minimaal 0,20 m tot de folie in de bovenbouw opgenomen.

Na profileren en afwerken van de bovenbouw wordt op de einden van de doorspuitpunten een straatpot geplaatst, waarvan de bovenzijde niet onder het oppervlak van de bovenbouw mag liggen. Markering kan plaatsvinden door aanbrengen van een korte paal (indien geen risico voor de folie ontstaat) of door aanbrengen van grote betontegel waarin ruimte voor de straatpot is gespaard.

Het inzaaien van graszaad op de kade zal hoofdzakelijk handmatig plaatsvinden door het grote oppervlak aan taluds.

Met name op de kruin en langs de buitenzijde van eindkaden is een goede grasmat van belang om erosie tegen te gaan. Dit deel van de kaden zal gedurende een langere periode aan destabiliserende invloeden onderhevig zijn dan tussenkaden of de binnenzijde van eindkaden.

7 AANSLUITING BOVENAFDICHTING OP ONDERAFDICHTING

7.1 Functie

In de documenten [4] (Richtlijn dichte eindafwerking) en [5] (Handleiding ontwerp dichte eindafdekking) wordt de plaats van aansluiting van de bovenafdichting op de onderafdichting aangeduid als de "teenconstructie". Om een samenhang in ontwerp te waarborgen van een veelheid van voorzieningen die nabij dit aansluitpunt zijn gelegen, en waarvan ook een aantal onderdelen van de onderafdichtingsconstructie deel uitmaken, worden de belangrijkste aspecten hierna weergegeven.

De belangrijkste functie van de teenconstructie is het gescheiden opvangen en afvoeren van schoon infiltratiewater en percolaat. Door horizontaal onder de bovenafdichting uittredend percolaat snel af te voeren, wordt voorkomen dat hoge waterspanningen onder de bovenafdichtingsconstructie aantasting hiervan of instabiliteit veroorzaken. Over de eindafwerking afstromend schoon water dient naar een randsloot te worden geleid. Tevens zorgt de teenconstructie voor zijdelingse steun voor de bovenafdichtingsconstructie.

7.2 Richtlijn voor opbouw en materiaal

7.2.1 Richtlijn voor opbouw

Basis van de teenconstructie is de stortkade (eindkade) die in het kader van de onderafdichtingsconstructie wordt aangebracht (hoofdstuk 6). Nabij deze kade (binnenzijde) zijn aanwezig het percolaatonttrekkingssysteem, doorvoering voor percolaatafvoer en buiten de eindkade de percolaat-afvoerleiding. Tevens is in de bodem een grondwatercontrolesysteem aanwezig, en (buiten de kade) een afvoerleiding met inspectieputten en doorspuitpunten behorende bij dit controledrainagesysteem (hoofdstuk 3 en 5). Op kadeniveau is mogelijk een horizontaal gasonttrekkingssysteem aanwezig zijn (hoofdstuk 8), alsmede de doorspuitpunten van de percolaat-drains (hoofdstuk 5 en 8).

Bij breedten van een stortterrein tot circa 300 m ligt de percolaatafvoer en grondwaterafvoer enkelzijdig, bij breedten tot circa 600 m aan weerszijden van de stort.

De dichte eindafwerking voegt aan deze basis de volgende voorzieningen toe:

- ontgassingsdrains, tevens opvangmiddel voor horizontaal (onder de bovenafdichting) uittredend percolaat;
- de afdichtingslagen;
- een drainagelaag met drainsysteem boven de bovenafdichting.

Deze voorzieningen worden aan onder- respectievelijk bovenzijde opgesloten door een steunlaag en leeflaag.

De beide drainagesystemen van de bovenafdichtingsconstructie worden aangesloten op respectievelijk het percolaatdrainagesysteem (met waterslotaansluiting) en op een onder of direct naast de maaiveldaan-sluiting van de bovenafdichting te situeren ontwateringsdrainage.

Deze drain of vergelijkbaar ontwateringsmiddel dient om instabiliteit te voorkomen door te hoge waterspanningen ter plaatse van de maaiveldaan-sluiting (steunfunctie voor de bovenafdichting), en voert af op de randsloot, waarop ook over de leeflaag afstromend regenwater afstroomt (schoonwater-afvoer). Een voorbeeld van een teenconstructie is weergegeven in figuur 6. De horizontale ontgassingsdrain is hierin niet opgenomen; daarvoor wordt verwezen naar hoofdstuk 8 en figuur 7. Voor de ontwerpaspecten van de teenconstructie wordt verwezen naar [5], 5.3.

7.2.2 Richtlijn voor materiaal

Uit het voorgaande blijkt, dat direct naast de eindkade een aantal voorzieningen worden aangebracht of aangesloten op reeds aanwezige voorzieningen. Aansluitingen en materiaal worden hierna kort behandeld.

Extra percolaatdrain binnen de eindkade

Deze percolaatdrain voorkomt te hoge percolaat-spiegels nabij de teenconstructie. De drain wordt aangebracht op 0,50 à 0,75 m boven de onderafdichting en bestaat uit een gesleufde of geperforeerde HDPE-drain diam. 110 of 160 mm. Uitvoering conform percolaatdrains volgens hoofdstuk 5. De drain aanbrengen ter weerszijden van een stortvak tegen de eindkade en aansluiten op de hdpe-inspectieschacht of op bijvoorbeeld een doorspuitvoorziening van de percolaatdrainage. De omhulling van de drain bestaat bij voorkeur uit grind. De ruimte tussen kade en afvallichaam wordt aangevuld met doorlatend materiaal.

Verlengen inspectieschachten

De inspectieschachten van het percolaatdrainage-systeem dienen ook na aanbrengen van de bovenafdichting hun functie te behouden. Door het oplassen of met behulp van schuifhulpstukken monteren van buisdelen kunnen de schachten op de gewenste lengte worden gebracht. In verband met toename van de schachthoogte en betredingsrisico (ook door derden) van het terrein op langere termijn dienen eenvoudig te openen deksels op een geëigend tijdstip vervangen te worden door veilige afdekkingen in geknevelde uitvoering.

Aansluiten gasdrainage van bovenafdichtingen

De gasdrains onder de bovenafdichting kunnen mogelijk tevens percolaat afvoeren. Om de afvoer mogelijk te maken is het aansluiten van de drainuiteinden op een (gesloten) leiding mogelijk, waarbij deze leiding wordt aangesloten op de (verlengde) hdpe-inspectieschacht. Alternatieven kunnen zijn elke drain over enige meters met ongeperforeerde buis te verlengen en aan te sluiten op het zandbed met percolaat-systeem boven de onderafdichting, danwel aansluiten op de doorspuituiteinden van het percolaatdrainage-systeem. Waar risico voor luchtaanzuigen ontstaat wordt een waterslot in een aansluiting opgenomen.

Voor materiaalkeuze wordt verwezen naar [5], 5.3.

Onderlinge aansluiting afdichtingen

Vormen van aansluitingen zijn in document [5], 5.3.5, nader behandeld.

Materiaalaspecten zijn van belang bij de volgende vormen:

- minerale laag op folie; randen van een folie dienen over voldoende lengte in de (verzwaarde) minerale laag te worden opgenomen;
- minerale laag op minerale laag: vervuilde, mogelijk gescheurde gedeelten of op andere wijze instabiel geworden materiaal van de bestaande laag verwijderen (breedte minimaal 0,50 m). Bij deze aansluiting in het nieuwe materiaal een bentoniet-toeslag toepassen (zie hoofdstuk 2 en 4);
- folie op folie: na reinigen en inspectie (zodig vervangen delen folie) een "overnaadse" overlap realiseren en door middel van lassen de folies onderling verbinden.

Indien de kans reëel is dat percolaat de aansluiting zal bereiken kan onder de minerale laag van de bovenafdichting over een aantal meters een (geprofileerde) foliestrook worden voorzien, die binnen de eindkade op de onderafdichting aansluit, danwel op de buitenflank wordt gehecht op de folie van de onderafdichting (zie [5], 5.3).

Regenwater-drainagesysteem en afvoeren

Voor het drainagesysteem boven de bovenafdichting, het bijbehorende afvoersysteem en de drain onder de maaiveldaansluiting van de bovenafdichting wordt verwezen naar [5], 5.3.

Doorvoerconstructies van afvoeren

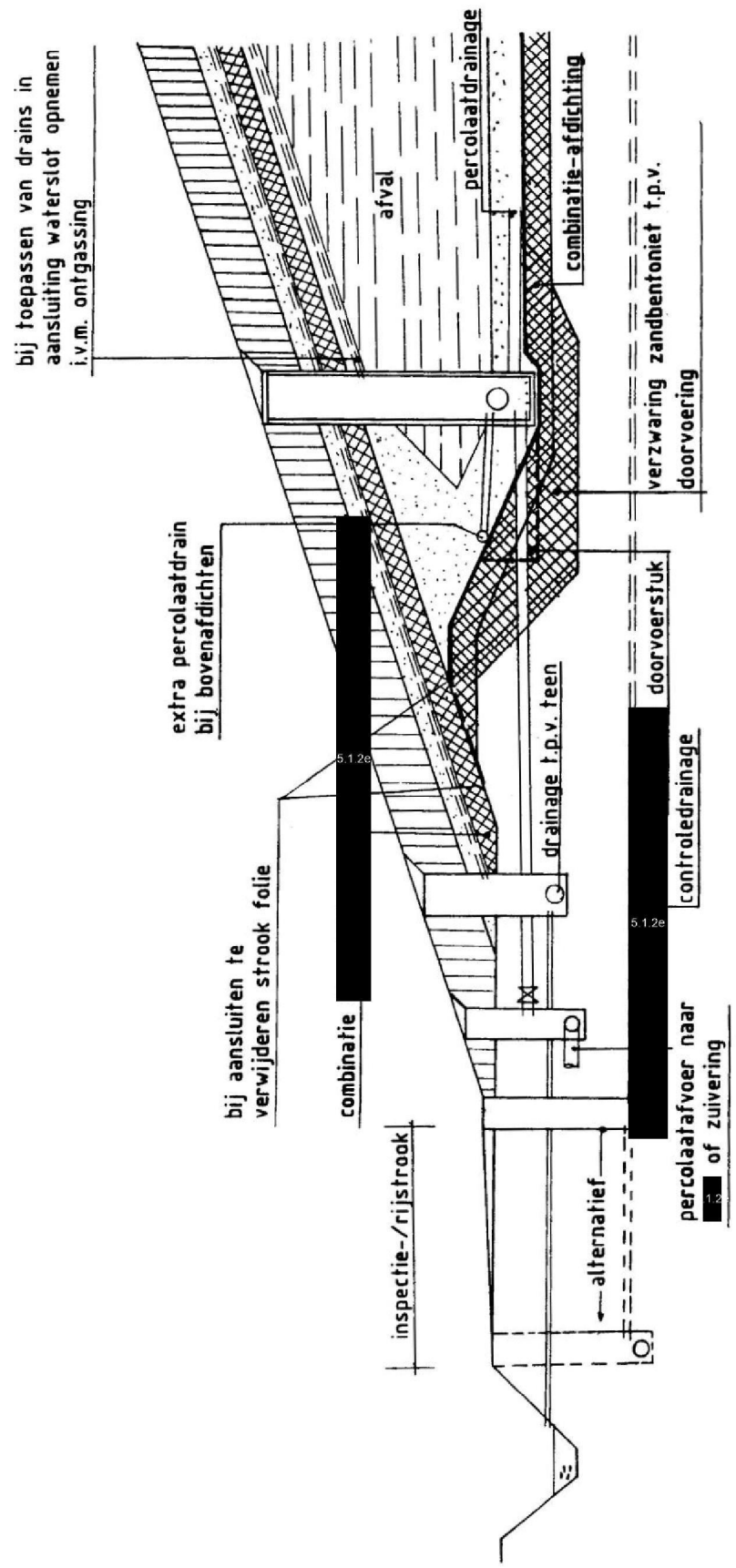
Voor de materiaalkeuze en oplossingen voor het maken van doorvoeringen door de bovenafdichting wordt verwezen naar [5], 5.3.

Bij realiseren van de teenconstructies dienen zodig aanvullende voorzieningen te worden aangebracht om vrijkomend percolaat op te vangen en af te leiden van de plaats van uitvoering. Aanvullen van ontgravingen en de binnenflank van de eindkade wordt uitgevoerd met draagkrachtig doorlatend materiaal om een maximale stabiliteit te bereiken.

7.3 Richtlijn voor uitvoering

In verband met de aansluitingen in de teenconstructie kunnen in principe de navolgende werkzaamheden van toepassing zijn:

- voorbereiden van aansluiten van de afdichtingsconstructie van de eindafwerking op de onderafdichting (grondwerk, opvangen horizontaal uitstromend percolaat, schoon maken aansluitvlak, verlengen buizen en schachten);
- eventueel plaatsen van verticale isolatie in de bodem (sanerings situatie);
- aanleggen en aansluiten van de extra percolaat ringdrains op de afvoeren voor het percolaat, en aanleggen buiten de kade van grondwaterdrain, afvoerleiding en schoonwaterafvoerleidingen naar het oppervlaktewater;
- aanbrengen van aanzet van de steunlaag en installeren van doorvoeringen;
- aanbrengen van de gasdrains (of drainagemat) in de steunlaag/ingekast in het afval in de taluds en de aansluitingen daarvan;
- aanbrengen van de teen: de aanzet van de bovenafdichtingsconstructie, de drainagelaag met drainagestelsel en de leeflaag tegen de kade.



Figuur 6: Voorbeeld van een teenconstructie

De volgorde van de werkzaamheden dient zodanig gekozen te worden dat (schoon) regenwater en percolaat snel kunnen worden afgevoerd en geen bedreiging vormen voor de kwaliteit en voortgang van het werk. Voor nadere gegevens omtrent de uitvoering wordt verwezen naar [4], 9.3 en [5], 5.5.

8 GASONTTREKKING

8.1 Functie

In het algemeen zal het afvalstoffenaanbod zelden geheel inert zijn, zodat bij de meeste afvalbergingen met het in meer of mindere mate vrijkomen van vluchtige stoffen rekening moet worden gehouden. Met name wanneer het afvalaanbod voor meer dan 5% bestaat uit verteerbaar organisch materiaal kan de gasvorming zodanig groot zijn dat de vluchtige stoffen geforceerd moeten worden onttrokken om ophoping daarvan te voorkomen. Daartoe wordt bij bereiken van (nagenoeg) de eindhoogte in het afvallichaam een verticaal onttrekkingsstelsel aangebracht, terwijl onder de bovenafdichting aanvullend een horizontaal onttrekkingsstelsel gebruikelijk is (zie [4], hoofdstuk 10).

Bij een aanzienlijk gehalte afbreekbaar organisch materiaal in het afvalaanbod (10 à 30%) begint de vorming van methaangas vaak al een half jaar na storten van dit afval. Ervaring leert dat ook in percolaatdrainagesystemen daardoor gas aanwezig kan zijn.

Enerzijds is de gasvorming daardoor hinderlijk of mogelijk gevaarlijk (explosieve mengsels), anderzijds is het stortgas een broeikasgas en een bron van stank waarvoor geldt dat de emissie dient te worden voorkomen of beperkt. Om deze redenen is bij dit afvalaanbod ook in de onderbouw van het afvallichaam reeds een onttrekkingsvoorziening gewenst. De mogelijkheden voor dit deel van de onttrekkingsvoorziening worden hier behandeld.

Een bijkomende functie van een op laag niveau aanwezig net van gasdrains kan bestaan uit het beperken of voorkomen van hoge percolaatschijnspiegels in het afvallichaam. Dit zal met name kunnen optreden wanneer de verticale doorlatendheid van het afval gering (geworden) is.

8.2 Richtlijn opbouw en materiaal

8.2.1 Richtlijn voor opbouw van horizontale gasonttrekking

Wanneer de verwachtingen en berekeningen voor het vrijkomen van stortgas wijzen op de noodzaak van een onttrekkingsstelsel, dient ook in de onderkant van het afvallichaam een voorziening te worden aangebracht. Om ook het percolaatsysteem te vrijwaren van stortgas wordt dat systeem in de onttrekking betrokken. Uitgegaan wordt van het creëren van enige onderdruk (aanzuiging) om het diffuus ontwijken van gas te voorkomen.

Om reeds tijdens het stortbedrijf gasonttrekking te kunnen uitvoeren, dient op enige afstand boven de onderafdichting een net van horizontale gasdrains te worden aangebracht.

De onderlinge afstand kan worden gekozen op 50 à 80 m. Om toetreden van het stortgas tot de drain mogelijk te maken dient de drain buiten het bereik van de mogelijke vloeistofspiegel van percolaat te liggen.

Daarnaast is voldoende afstand tot de onderafdichting en tot taluds van het afvallichaam vereist om luchtinzugten zo veel mogelijk te voorkomen. Het niveau van de gasdrain kan worden gesteld op minimaal 1 m boven de stortzool (minimaal 1,50 m boven de onderafdichting).

De gasdrain kan worden samengesteld uit gladde, gesleufde of met ruime gaten (minimaal 8 mm) geperforeerde HDPE-buizen.

In verband met de kans op aanhechting van stoffen aan de buis dient de breedte van sleuven minimaal 4 mm te bedragen.

Gezien de belasting door het afvallichaam en de waarschijnlijkheid dat het omringende afval zeer vochtig kan zijn, dient een sterkteberekening voor de drainbuizen te worden uitgevoerd zoals voor percolaatdrains, en de buis-klasse op basis daarvan te worden vastgesteld.

De drains worden evenwijdig aan de tussenkaden aangebracht en monden uit boven de eindkaden. Aan beide einden wordt de buitenste circa 20 m buis in het afvallichaam ongeperforeerd uitgevoerd (tegen luchtinzugting).

Rond de drains dient de nodige holle ruimte te worden gevormd door omstorting met puin, grind e.d.. De diameter kan mogelijk worden bepaald op basis van de te verwachten hoeveelheden gas, maar zal voor HDPE minimaal 110 mm bedragen. De beide uiteinden van de gasdrain dienen voor reinigen van de drain toegankelijk gemaakt te kunnen worden. In principe zal onttrekking aan één zijde toereikend zijn.

Om te voorkomen dat het percolaatdrainagesysteem gas gaat afvoeren kan de onttrekking (aanzuigen) op gasdrains worden uitgebreid tot één of meer doorspuitpunten per stortvak van dit drainagesysteem in de eindkaden (zie 5.2 en 6.2). Dit betekent, dat de afsluiting van de overige doorspuitpunten luchtdicht dient plaats te vinden, terwijl op de bovenkant van de HDPE-schachten een afdichtend tussendecksel noodzakelijk is om luchtaanzuiging te voorkomen.

Om te voorkomen dat gasdrains door condensaat uit het gas of door percolaat (hoge schijnspiegels) gevuld raken dient in elke drain op het laagste punt een afvoer naar het zandbed onder de stortzool te worden aangebracht. Deze afvoer kan ook na eventueel stoppen van de gasonttrekking nog functioneel zijn, zodat onderhoud van de gasdrains mogelijk een langere periode gewenst is.

In welke mate het onttrekken van gas uit de genoemde voorzieningen ook na aanbrengen van de bovenafdichting nog noodzakelijk is, kan worden onderzocht na plaatsing van verticale onttrekkingsbronnen in het afvallichaam. Indien de gasonttrekking in voldoende mate door deze verticale punten wordt overgenomen zal de horizontale onttrekking kunnen worden gestaakt. Op basis hiervan kan voor het situeren van een aanzuigleiding langs het stortterrein worden gekozen voor tijdelijk aanbrengen op de eindkade. Op deze wijze zijn het koppelen van gasdrains en de betrokken doorspuitpunten van de percolaatdrainage aan de aanzuigleiding eenvoudig uit te voeren.

Indien de horizontale onttrekking ook na bovenafdichten nog noodzakelijk is, zijn doorvoeringen door de bovenafdichting noodzakelijk (zie [4] en [5]). In de onderzoeksperiode na bovenafdichten kan de gasleiding tijdelijk langs de teen van de helling worden gelegd en aansluitend zonodig worden ingegraven.

8.2.2 Richtlijn voor materiaal

Het gasonttrekkingssysteem wordt uitgevoerd in een mediumbestendig materiaal, zoals HDPE. Tevens moet het leidingstelsel voldoende sterkte en wanddikte hebben om spanningen door belastingen en verzakkingen op te vangen, en voorzien zijn van trekvaste lasverbindingen (spiegellassen) of langere buisklikstukken (zie par. 5.2). In dit verband kunnen elektrolas-moffen niet als voldoende trekvast worden aangemerkt.

Bij ligging van de gasdrains op onderliggend afval moet nog meer dan bij percolaatdrainage op expansie en krimp worden gerekend, en daarnaast op klink van het afval. Situering kan ook plaatsvinden op tussenkaden of daartoe aangelegde ophogingen van draagkrachtig materiaal.

De noodzakelijke lengten dichte buis worden bij voorkeur uit één stuk gekozen, zodat hierin geen verbindingen noodzakelijk zijn (leverbaar tot diam. 200 mm).

Om een voldoende grote drukval te creëren tussen het afval en onttrekkings-systeem worden de drains omstort met grof, goed gasdoorlatend materiaal zoals bijvoorbeeld puin, grof zand of grind.

Om luchtaanzuiging te voorkomen dienen de niet aan te sluiten doorspuitpunten van de percolaatdrainage te worden afgedicht met kunststof eindkappen met rubbering.

Om aanzuiging via schachten te voorkomen kan een passend kunststof (HDPE) tussendecksel in dichte uitvoering op de schacht worden aangebracht.

Aanzuigen van lucht vanuit de percolaat-afvoerleiding buiten een stortvak kan worden voorkomen door het aanbrengen van een waterslot in de stortvak-afvoer (par. 5.2).

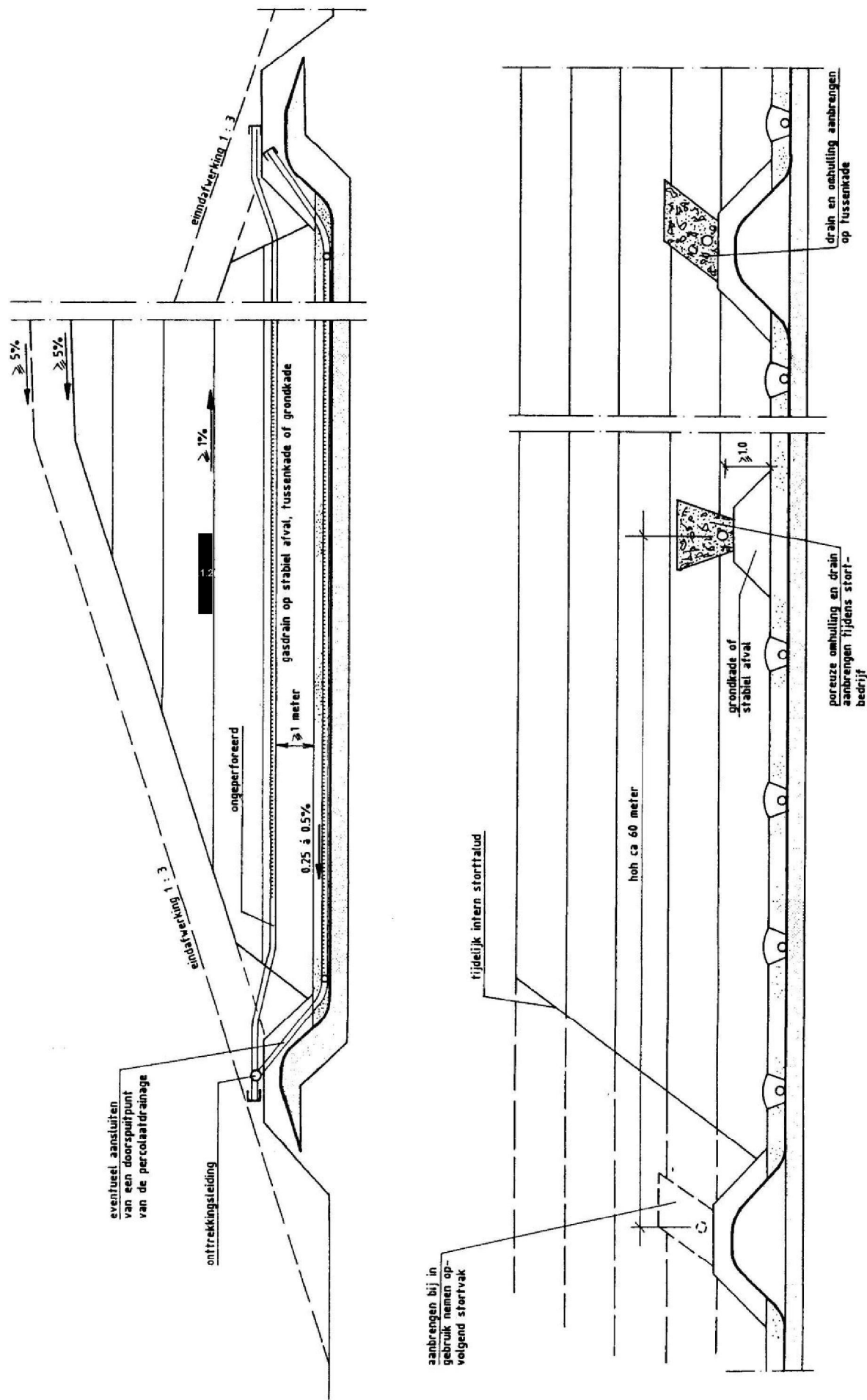
Ter plaatse van de aansluiting van doorspuitpunten en gasdrain op de aanzuigleiding zullen T-stukken of kruis-stukken noodzakelijk zijn om de toegankelijkheid van beide drainstelsels voor onderhoud te waarborgen. Tijdens de onttrekking en het transport van stortgas ontstaat condensaat. Dit condensaat is, evenals percolaat, verontreinigd. Het condensaat mag in de stort worden teruggevoerd. Hiervoor moet in elke drain een waterslot worden aangebracht. Door dit waterslot kan ook tot de gasdrain toegetreden percolaat worden afgevoerd naar het zandbed (8.2.1). Om uit te sluiten dat het condensaat zich ophoopt in de gas-transport-leiding en daarmee de gasafvoer belemmerd, moeten de leidingen onder permanent afschot (ook na zetting en klink) worden aangelegd en zijn mogelijk afscheiders in het systeem noodzakelijk.

Doorvoerconstructies door de bovenafdichting zijn gedetailleerd beschreven in [4] en [5]. Dit is zeker van toepassing op de doorspuitpunten van de percolaatdrainage, en afhankelijk van het functioneren van de verticale gasbronnen ook op de gasdrain. Alternatief kunnen de horizontale gasdrains bij bovenafdichten op het bij de bovenafdichting behorende gasdrainagestelsel worden aangesloten (zie [4]).

8.3 Richtlijn voor uitvoering

De aanwijzingen zoals vermeld in paragraaf 5.3 voor percolaatdrains zijn overeenkomstig van toepassing voor de gasdrains. In extreme gevallen kan worden overwogen de gasdrains onderling te verbinden door een koppel-drain, doch dit is voor de in principe relatief korte periode van functioneren (tijdens stortbedrijf tot moment aanbrengen bovenafdichting) van de gasonttrekking niet noodzakelijk.

Bij situeren van de gasdrains op tussenkaden dient de grondafdekking op de afdichting tenminste 0,75 m dik te zijn. Aanbrengen van de poreuze omhulling kan plaatsvinden tijdens of na het aanbrengen van de eerste laag afval bij in gebruik nemen van het aansluitende (nieuwe) stortvak. Bij ligging van gasdrains op een daartoe aangelegde grondwal dient het aanbrengen van dit omhullingsmateriaal te worden ingepast bij het stortbedrijf.



Figuur 7: Horizontale gasonttrekking

9 GESCHIKTHEIDSONDERZOEK MATERIALEN

9.1 Natuurlijke materialen

9.1.1 Beschrijving van de grondsoort

Te verrichten op alle toegepaste grond:

- benaming van de grondsoort conform NEN 5104, 'Classificatie van onverharde grondmonsters'. Tevens vermelding van de plaats van herkomst, de oorspronkelijke ligging ten opzichte van maaiveld, het grondgebruik (zowel het huidige als dat in het verleden), de duur van opslag in een depot (indien dat aan de orde is) en de opslagomstandigheden.

9.1.2 Granulaire samenstelling (zie [5], 3.2)

Te verrichten op grond voor minerale afdichtingslaag:

- bepaling van de korrelverdeling en uniformiteitscoëfficiënt u met de zeefproef, Standaard RAW Bepalingen, hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 6.0;
- bepaling van het lutumgehalte, het gehalte aan minerale deeltjes $< 2 \mu\text{m}$ met de areometerproef, Standaard RAW Bepalingen, hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 1.0;
- bepaling van het leemgehalte, gehalte aan minerale deeltjes door zeef $63 \mu\text{m}$, Standaard RAW Bepalingen, hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 2.

Te verrichten op grond voor fundering en drainagelaag:

- bodemkundige schatting van de granulaire samenstelling;
- zandzevingen op monsters voor drainagezand.

9.1.3 Kleimineralogisch onderzoek (zie [5], 3.3)

Te verrichten op bentoniet als toeslagstof of kleigrond voor afdichtingsconstructie:

- onderzoek naar de aard van de kleimineralen (deeltjes $< 2 \mu\text{m}$) met röntgendiffractie.

9.1.4 Bodemchemisch onderzoek (zie [5], 3.3)

Te verrichten op bentoniet als toeslagstof en grond voor afdichtingslaag en drainagelaag.

- Bepaling van het kalkgehalte volgens NEN 6446.
- Zuurgraad pH-KCL: zuurgraad (pH-KCL), elektrische meting Standaard RAW Bepalingen hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 119.
- Bepaling van het humusgehalte (organisch stofgehalte) door middel van de bepaling van het gloeiverlies van zand, Standaard RAW Bepalingen, hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 7.
- Bepaling van het zoutgehalte door meting van het elektrisch geleidingsvermogen. Een NEN-norm is in voorbereiding (NEN 51-serie).

9.1.5 Verdichtingsonderzoek (zie [5], 3.4)

Te verrichten op grond voor fundering, afdichtingsconstructie en drainage-laag:

- het optimale vochtgehalte voor verdichting ofwel de proctorproef conform Standaard RAW Bepalingen, hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 5.1. Ook moet worden vastgesteld welke dichtheid te bereiken is als het vochtgehalte onder en boven het optimum ligt. Aangegeven moet worden met welk vochtgehalte het materiaal op het werk aangevoerd moet worden en hoe het optimale vochtgehalte kan worden gerealiseerd.

9.1.6 Plasticiteitsonderzoek (zie [5], 3.5)

Te verrichten op grond voor afdichtingsconstructie:

- bepaling van de consistentiegrenzen, conform Standaard RAW Bepalingen, hoofdstuk 2, paragraaf 2, proef 15.

9.1.7 Doorlatendheidsonderzoek (zie [5], 3.6)

- Doorlatendheidsschattingen: materiaal voor drainagelaag door een ervaren bodemkundige.
- Onderzoek te verrichten op: materiaal voor minerale afdichtingslaag.

De stroming van water door een poreus medium wordt in het algemeen beschreven met de Wet van **5.1.2e**. Deze geeft aan dat de doorlatendheid recht evenredig is met de aangelegde potentiaalgradiënt volgens de vergelijking:

$$q = k \cdot i$$

waarin:

q = debiet (m/s)

k = doorlatendheidscoëfficiënt (m/s)

i = potentiaalgradiënt (m/m)

Het debiet q is gedefinieerd als de hoeveelheid water Q (m³), die bij een bepaalde temperatuur per seconde door een doorsnede (1 m²) stroomt als gevolg van een verhang van 1 (potentiaalgradiënt 1 m/m).

Gebleken is, dat waterstroming als gevolg van kleine potentiaalgradiënten in grondsoorten met een zeer geringe doorlatendheid niet voldoet aan de Wet van **5.1.2e** terwijl ook bij zeer grote gradiënten afwijkingen zullen ontstaan. Hiermee dient rekening te worden gehouden door de doorlatendheidsproeven uit te voeren bij potentiaalgradiënten die in de praktijk maximaal zullen voorkomen (zie [5], 3.6). Doorlatendheidsproeven moeten uitwijzen of het zand-bentonietmengsel voldoet als afdichtingsmateriaal. Het onderzoek moet worden uitgevoerd met representatieve monsters, die qua materiaal overeenkomen met het afdichtingsmateriaal zoals dat in de praktijk gebruikt zal gaan worden en waarbij de mate van verdichting vergelijkbaar is met de in de praktijk te realiseren verdichting.

Daarnaast moet de doorlatendheid worden herleid tot de doorlatendheid bij 20° C en met leidingwater. Bij lagere temperaturen wordt de doorlatendheid geringer als gevolg van de toenemende viscositeit van het water.

De te gebruiken methode om de doorlatendheidscoëfficiënt van slecht doorlatende grondsoorten te bepalen is de zogenaamde 'falling-head' methode. Bij deze proef neemt de potentiaalgradiënt voortdurend af tijdens de meting. Bij aanvang van de proef dient de gradiënt minimaal 20 of hoger te zijn. De metingen worden voortgezet tot een gradiënt van 5 of lager is bereikt, hetgeen overeenkomt met praktijkomstandigheden. Het voordeel van deze methode is dat uit de metingen direct de relatie tussen (q) en (i) kan worden vastgesteld, zodat ook in geval van een niet-lineaire relatie direct bij elke willekeurige gradiënt de daarbij behorende doorlaatfactor (doorlatendheidscoëfficiënt) kan worden berekend.

De waterdichtheid van een minerale afdichting moet worden aangegeven met de te verwachten lekkage in mm/jaar. Dit betekent, dat er een omrekening naar ontwerp-condities moet plaatsvinden, rekening houdend met het niet-lineaire verband tussen debiet en potentiaalgradiënt en de te verwachten gradiënten in de veldsituatie. De gevonden lekkage mag voor monsters uit het werk nooit groter zijn dan 20 mm/jaar, en dient zoveel lager te zijn als bij het uitvoeren van een proefvak haalbaar is gebleken.

Bij het ontwerpcriterium voor de minerale laag is uitgegaan van een dikte van 0,50 m en een maximale lekkage van 20 mm/jaar. De hydraulische gradiënt wordt bepaald bij de minerale laag, dik 0,50 m, een waterkolom (percolaat ophoping) van 0,50 m en een onderdruk onder de minerale laag van 0,30 m waterkolom ten opzichte van de onderzijde van de minerale laag:

$$i = \frac{1,3}{0,5} = 2,6$$

Bij het vooronderzoek (laboratoriumbeproeving bij bepalen bentonietgehalte) geldt een maximale lekkage van 8 mm/jr en als absoluut maximum voor monsters uit het werk 20 mm/jr.

Voor uitvoering van de doorlatendheidsproef volgens de falling-head en eventueel de "constant-head"-methode zie [5], 3.6.3.3 en [6] en [13].

9.1.8 Parameters voor stabiliteitsbeschouwing

Bij potentieel instabiele situaties (lange hellingen of hellingen steiler dan 1:5, korte kades uitgezonderd) te verrichten op alle materialen:

- de volumieke massa ρ in kg/m^3 , zowel voor droge als natte toestand (zie 9.1.5);
- bepaling van de schuifsterkte van de grond: de cohesie c en de wrijvingshoek Φ . Als er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om representatieve waarden van c en Φ te bepalen, moeten triaxiaalproeven op de verschillende grondsoorten worden verricht. Deze moeten als drietraps geconsolideerde ongedraineerde proef worden uitgevoerd. Voor de beschrijving van de triaxiaalproef wordt verwezen naar NEN 5117.

De proeven moeten worden uitgevoerd op monsters die representatief zijn voor de grondsoort die wordt toegepast.

9.2 Onderzoek synthetisch afdichtingsmateriaal (zie ook [7] en [8])

De geschiktheidscontrole van synthetische afdichtingsmaterialen vindt in feite plaats bij de fabricage van HDPE-foliebanen.

Daarbij kunnen 2 soorten eisen en controles worden geformuleerd:

- functionele eisen en controles daarop, gebaseerd op de aard van grondstoffen, het mengsel en isolatie-eigenschappen (in feite selectie-criteria) (zie [7], deel I, par. 7.2);
- kwaliteits- en controle-eisen aan gerealiseerde foliebanen (zie [7], deel I, hoofdstuk 5 t/m 7).

Geschiktheid en controle van geomembraan zijn met name behandeld in document [7] "Protocollen voor toepassen van kunststof geomembranen". Dit is een herziening van nr. 39 uit de eerdere "Bodembeschermingsreeks VROM". In [8] "Richtlijnen voor het toepassen van geomembranen" is de relatie met de omstandigheden op een locatie opgenomen en is de kwaliteitsborging aangegeven.

De beproeving op functionele eisen vindt alleen in de fabriek plaats en heeft veelal het karakter van langeduur-beproeving of het aantonen van bepaalde basis-eigenschappen, die de geschiktheid voor de betrokken vorm van bodemisolatie bepalen.

Deze beproevingen behoeven daarom niet frequent te worden uitgevoerd.

Voor functionele eisen gelden de volgende beproevingen:

- spleetdrukproef;
- langeduur-thermische veroudering;
- relaxatiegedrag;
- chemische resistentie;
- uitloging door water;
- UV-resistentie;
- weerstand tegen microbiologische invloeden;
- weerstand tegen wortelgroei;
- weerstand tegen diervraat;
- permeatie;
- extractie door water.

Voor nadere gegevens wordt kortheidshalve verwezen naar [7], deel I, hoofdstuk 6 en paragraaf 7.2.

Controles ter bepaling van de kwaliteit van het geleverde of te leveren produkt dienen frequenter plaats te vinden (zie [7], deel I, paragraaf 6.3 en 6.4), hetgeen eveneens geldt voor fabrieksmatige lassen. Voorschriften van de frequentie en begeleiding van de controles vindt plaats door een keuringsinstantie. Deze categorie controles wordt hierna kort beschreven.

9.2.1 Uiterlijk

Het oppervlak moet gaaf en regelmatig van uiterlijk zijn. Er mogen geen defecten zoals blaasjes, poriën, krassen e.d. voorkomen, die de functionaliteit ongunstig beïnvloeden. Wanneer een profiel of reliëf is aangebracht moet dit regelmatig zijn. De hoogte of diepte van een reliëf mag niet groter zijn dan 0,25 mm. De door de fabrikant in de fabriek gemaakte verbindingen moeten regelmatig van uiterlijk zijn.

9.2.2 Afmetingen

Dikte

De dikte van de folie dient door de afnemer te worden aangegeven (minimaal 2 mm). De tolerantie voor maatafwijkingen voor hdpe-banen voor afvalbergingen dient te worden gesteld op +10% zonder negatieve tolerantie. Bij andere, minder kritische toepassingen kan een negatieve tolerantie van -5% à -10% toelaatbaar zijn. Alternatief kan een folie 2,5 mm met een tolerantie $\pm 10\%$ worden gekozen. De bepaling van de dikte vindt plaats volgens NEN 3056, artikel 7.2. Voor geprofileerde folies geldt eveneens de hiervoor gegeven effectieve dikte. De profilering mag niet hoger zijn dan 0,25 mm.

Breedte en lengte

De breedte en lengte zijn overeen te komen tussen leverancier en afnemer met inachtnemen van de in de Richtlijn Geomembranen [8] voorgeschreven rolbreedte (minimaal 5 m, maximaal 10 m).

De lengte moet minimaal de opgegeven lengte zijn. De toegelaten afwijking op de breedte is nominaal -150 mm.

De bepaling van de breedte vindt plaats volgens NEN 3056, art. 4.

Rechtheid en vlakheid van de kanten van de folie

De bepaling wordt uitgevoerd volgens DIN 16726, art. 5.2.

De afwijking van de rechtheid van de kanten van de folie mag niet groter zijn dan 50 mm.

De afwijking van de vlakheid van de kanten van de folie mag voor folies met een nominale dikte groter dan 1 mm niet groter zijn dan 80 mm.

9.2.3 Verwerkbaarheid bij lage temperatuur (vouwbaarheid)

De folie moet bij lage temperaturen hanteerbaar blijven. Daarom mag de folie geen scheuren vertonen na beproeving overeenkomstig DIN 53361 bij -20° C.

9.2.4 Mechanische doorslagsterkte (valgewichtproef)

De folie mag, na beproeving overeenkomstig DIN 16726, par. 5.12, geen lekkage vertonen bij een massa van het vallichaam van 500 gr en een valhoogte van 1500 mm voor folies dik 2 mm respectievelijk een valhoogte van 1750 mm voor folies dik 2,5 mm.

9.2.5 Krimp bij verhoogde temperatuur

De bepaling wordt uitgevoerd volgens DIN 16726, artikel 5.13.1 bij een proeftemperatuur van 100° C. De proef omvat het meten van de afmetingen van een proefstuk vóór en na het blootstellen aan verhoogde temperatuur. Na het uitvoeren van de beproeving mag de afmeting in de rolrichting en in die loodrecht daarop niet meer veranderen dan 1,5% na 1 uur en 2% na 6 uur voor onversterkte folies, respectievelijk 0,5% na 6 uur voor versterkte folies.

9.2.6 Treksterkte

De bepaling wordt uitgevoerd volgens ISO 527. De beproeving berust op het deformeren van een proefstuk terwijl de daarvoor benodigde kracht wordt geregistreerd. De deformatiesnelheid is afhankelijk van het materiaal en bedraagt voor HDPE 100 mm/minuut.

Bij beproeving moet de vloeigrens bij 23° C zijn als opgegeven door de fabrikant met een tolerantie van $\pm 10\%$. Voor HDPE dient de vloeigrens tenminste 16,0 N/mm² te bedragen.

9.2.7 Doorscheursterkte

Het materiaal dient voldoende weerstand tegen doorscheuren te bezitten. Bepaald volgens NEN 3056, gekerfd, is 130 N/mm vereist.

9.2.8 Trekslagsterkte

De beproeving wordt uitgevoerd volgens DIN 53448 met een slingerslaghamer met een energie-inhoud van 50 Joule. De gemeten trekslagsterkte bij bezwijken van het proefstuk bedraagt voor HDPE minimaal 500 kJ/m².

9.2.9 Weerstand tegen spanningscorrosie

De beproeving wordt uitgevoerd volgens ASTM-D1693-70 en betreft het langdurig plaatsen van in een kleine straal gebogen proefstukken in onderzoeksvloeistoffen. Geconstateerd wordt na hoeveel tijd de proefstukken breken of scheuren vertonen. Voor HDPE geldt een weerstandseis van tenminste 1000 uur.

9.2.10 Thermische stabiliteit

Bij de beproeving volgens ASTM-D 3895 wordt de (oxydatieve inductie)tijd gemeten tot het ontstaan van een exotherme reactie bij een proefstuk, dat (onder een permanente zuurstofstroom) snel wordt opgewarmd tot 200° **1.2**
5.1.2e HDPE geldt een inductietijd van tenminste 20 minuten.

9.2.11 Carbonblack-gehalte

Bij de beproeving volgens NEN 7116, bijlage B, moet het carbonblack-gehalte (roet) voldoen aan de opgave van de fabrikant met een afwijking van $\pm 0,5\%$ (m/m).

9.2.12 Controle fabrieksmatige verbindingen

Aan fabrieksmatig vervaardigde lassen, toegepast bij het samenstellen van een foliebaan uit twee of meer smallere banen, kunnen de volgende controles worden uitgevoerd:

- controle op uiterlijk van de las;
- treksterkte;
- afpelsterkte;
- trekslagsterkte;
- lekdichtheid.

Voor nadere gegevens wordt korthedshalve verwezen naar [8] en [7], deel I, paragraaf 5.3.

9.2.13 Parameters voor stabiliteitsbeschouwing (zie [4])

Bij afdichtingen op steile kaden of tegen wanden van groeves (instabiele situaties met lange hellingen of met hellingen steiler dan 1:5) geldt:

- Bepaling van de schuifsterkte tussen synthetisch materiaal en grond, gekarakteriseerd door de schuifsterkteparameters adhesie a' en wrijvingshoek δ' . Dit gebeurt met de directe schuifproef, uitgevoerd conform DIN 53375.

Voor schuifproeven tussen folie en zand geldt:

- het watergehalte heeft weinig of geen invloed op de schuifsterkte. Het zand mag dus zowel aardvochtig als droog zijn;
- de toegepaste bovenbelasting bedraagt maximaal 25 kN/m²;
- de afschuifsnelheid bedraagt 1,0 mm/s;
- het zand dient te worden verdicht tot de dichtheid die in het veld wordt vereist.

Voor schuifproeven tussen folie en cohesief materiaal geldt:

- de klei in de proefopstelling dient hetzelfde watergehalte en dichtheid te hebben als hetgeen in het veld wordt vereist. Optimaal watergehalte en bijbehorende dichtheid moeten worden bepaald met de proctorproef (zie 9.1.5);
- de toegepaste bovenbelasting bedraagt maximaal 25 kN/m²;
- de consolidatietijd voor aanvang van de proef dient tenminste 24 uur te bedragen;
- de schuifsnelheid moet zo klein worden gekozen dat het ontstaan van wateroverspanning tijdens de proef wordt uitgesloten. In [4] is hiervoor 0,025 mm/min aangehouden.

De verkregen proefresultaten moeten statistisch worden verwerkt.

Ter verkrijging van de rekenwaarden van a' en δ' moeten de gemiddelde waarde worden gedeeld door materiaalfactoren (zie voor de methode [5], 2.1).

9.3 Onderzoek alternatieve afdichtingsmaterialen

Naast de in dit rapport onderscheiden materialen voor afdichtingsconstructies zijn in principe andere materialen of constructies denkbaar.

Bij het ontwikkelen van alternatieve materialen dient primair te worden gestreefd naar een verbetering van de isolatie-eigenschappen ten opzichte van eigenschappen van de nu voorgestelde materialen en/of constructies.

Daarbij gaat het name om:

- beperking van doorlatendheid;
- vermindering diffusie-gevoeligheid;
- verbetering chemische bestandheid en langeduur-stabiliteit.

In milieu-technisch opzicht is het voorts van belang een materiaalselectie toe te passen die enerzijds een besparing inhoudt van het gebruik van natuurlijke minerale grondstoffen en anderzijds een milieuvriendelijker productie- en realiseringsproces mogelijk maakt.

Indien een alternatief materiaal geen verbetering betekent, dient met betrekking tot nazorg een afweging plaats te vinden of een veelheid van nagenoeg gelijkwaardige materialen een extra inspanning zal kunnen inhouden gedurende de "eeuwigdurende" nazorgperiode. Zeker wanneer het lange-termijn-gedrag van materialen nog onzeker is, dient een "wild-groei" van materialen te worden voorkomen. Standaardisering en uniformiteit van maatregelen bij aanleg zal voor een nazorg-organisatie de voorkeur hebben.

Het is anderzijds niet de bedoeling dat de in dit rapport genoemde materialen onderzoek naar vervangende en betere materialen frustreert. Immers, met de genoemde materialen en constructies zijn emissies niet geheel te voorkomen. Voor het aantonen van de geschiktheid van andere materialen zal uitgebreid onderzoek noodzakelijk zijn. Ter indicatie daarvan zijn reeds uit het in 9.1 en 9.2 hiervoor vermelde geschiktheidsonderzoek een veelheid aan onderzoeksaspecten af te leiden.

De meest primaire functionele- en kwaliteitsbeproevingen kunnen als volgt worden aangegeven:

- waterdoorlatendheid op korte en lange termijn;
- mechanische stabiliteit;
- thermische stabiliteit;
- chemische stabiliteit en bestendigheid;
- biologische stabiliteit en bestendigheid;
- procesmatige verwerkbaarheid;
- controlemogelijkheden samenstelling en eigenschappen;
- gevoeligheid en maatregelen tijdens uitvoering.

Op basis van de aard van het alternatieve materiaal dient een nadere uitwerking plaats te vinden.

De onderzoeksresultaten dienen in het kader van kwaliteitsborging het opstellen van een standaard voor fabricage, aanbrengen en controles mogelijk te maken. In hoofdlijnen zullen de navolgende protocollen van belang zijn:

- protocol materiaaleisen en materiaalselectie;
- protocol beproevingen;
- protocol toepassingen:
 - onderafdichtingsconstructies;
 - bovenafdichtingsconstructies;
 - bijzondere onderdelen in constructies;
 - proefvakken;
- protocol voor uitvoering;
 - uitvoeringscontrole en kwaliteitszorg;
 - uitvoeringsmethodieken.

Bij voldoende aangetoonde geschiktheid kan toepassing worden overwogen. Naar enige materialen, onder andere asfaltbeton en Tonplast, vindt momenteel onderzoek plaats.

10 KWALITEITSZORG

10.1 Algemeen

Kwaliteitszorg is een instrument dat tijdens het realiseren van een (afdichtings-)constructie wordt gehanteerd om te kunnen voldoen aan de vooraf opgestelde kwaliteitscriteria. De volledige kwaliteitszorg omvat de kwaliteitssystemen voor zowel het ontwerpen/ontwikkelen als het vervaardigen, controleren, beoordelen tijdens de uitvoering, alsmede voor de nazorgactiviteiten. Door het nemen van intensieve kwaliteitsbewakende maatregelen kunnen materiaal- en productiefouten worden vermeden, hetgeen de kwaliteit en het veiligheidsniveau van een constructie ten goede komt. In dit hoofdstuk komen de hoofdlijnen van de kwaliteitszorg aan de orde. Voor meer informatie wordt verwezen naar [4], [5], paragraaf 5.6., [7], deel II en deel I, hoofdstuk 6 en [8].

In eerste instantie dient met laboratoriumonderzoek te worden aangetoond dat met de geselecteerde bouwmaterialen in principe aan de gestelde eisen kan worden voldaan. Vervolgens dient in een proefvak de toepassing en de opbouw van de materialen en constructie te worden getest, waarbij voor zandbentoniet en klei-afdichtingen met name het homogeniseren en de juiste verdichtingstechniek dienen te worden bepaald. Op basis van productieproces en proefvak worden de uitvoeringsmethode, en de parameters en frequentie van controle tijdens uitvoering nader gedetailleerd en definitief vastgesteld.

In het contract met de uitvoerder (aannemer) zal de opdrachtgever daartoe het kwaliteitssysteem moeten vastleggen voor het vervaardigen, controleren, beoordelen, en het uitvoeren van nazorg. Bij het opstellen van een kwaliteitssysteem dient de NEN-ISO-9000 serie (9000-9004) te worden gehanteerd.

In een kwaliteitssysteem moet minimaal aandacht worden besteed aan:

1. Omschrijving van taken en verantwoordelijkheden van de betrokken partijen, te weten de vergunningverlenende instantie, de opdrachtgever als eindverantwoordelijke en de uitvoerder. De verhouding tussen opdrachtgever en uitvoerder is juridisch goed vastgelegd wanneer in het contract de Uniforme Administratieve Voorwaarden (UAV) 1989 van toepassing zijn verklaard.
2. Beschrijving van de te controleren materiaalparameters en productieprocessen, en de frequentie van controle. Eveneens wordt de wijze van beproeven en keuren omschreven.
3. Kwaliteitsregistratie door de uitvoerder van kenmerken en waarnemingen alsmede het verzamelen, indexeren, archiveren en op peil houden van alle kwaliteitsgegevens gedurende de werkperiode, een en ander met begeleiding van opdrachtgever/directievoerende instantie.
4. Beoordeling van leveranciers, controle van inkoopdocumenten, verificatie van ingekochte producten, alsmede identificatie en naspeurbaarheid van producten.
5. Beheersing, calibratie en onderhoud van keurings-, meet- en beproevingsmiddelen door de uitvoerder of in te schakelen laboratorium.
6. Beheersing van vervaardigingsprocessen door de uitvoerder, vast te stellen aan de hand van een proefvak.

7. Beoordeling en afhandeling van gedeelten met tekortkomingen en uitvoering van corrigerende maatregelen.

Het door de opdrachtgever aangegeven kwaliteitssysteem dient door de uitvoerder op onderdelen nader te worden uitgewerkt.

10.2 Kwaliteitscontrole minerale materialen tijdens de uitvoering

De opdrachtgever bepaalt aan de hand van het vooronderzoek en de te bereiken resultaten de te controleren parameters en de bijbehorende frequentie van (monster- en veld-)onderzoek. In tabel 10.1 is een voorstel weergegeven van de uit te voeren controle en keuringen op kwaliteit en de frequentie van de diverse proeven en metingen. Tevens is de controle- en beproevingsmethode aangegeven.

Tabel 10.1: Voorstel voor controle op kwaliteit bij de aanleg van een minerale afdichtingslaag

beoordeling van (parameter)	controlemethode	kwaliteit	frequentie
1 Granulaire samenstelling van steunlaag en drainagelaag	- BUGO - oogtoezicht - indirect	1)	per 2500 m ²
2 Watergehalte	- watergehaltebepaling	2)	per 500 m ³
3 Verdichting	- droogvolumegegewicht - conusweerstand	3)	
4 Bentonietgehalte	- m.b.v. bak of zeil (mixin place) - permanente meting in installatie (in plant) - steekproefsgewijze bemonstering in installatie - steekproefsgewijze bemonstering in veld		per 1000 m ²
5 Granulaire samenstelling van afdichtingsmateriaal	- BUGO	1)	per 100 m ³
6 Laagdikte van de diverse lagen	- waterpassing vooraf en achteraf - indirect - meting op geotextiel	n.v.t.	per 100 m ²
7 Doorlatendheidstest	- "falling head" in het veld	1)	per 2000 m ³

1) kwaliteitseisen zijn vastgesteld in het vooronderzoek

2) zie 1), Norm: $w > w$ (optimaal)

NB:

Indien het watergehalte door weersomstandigheden te hoog is, dan is het toevoegen van bentoniet noodzakelijk

- 3) norm onderafdichtingslaag: verdichting > 98% Proctordichtheid
norm fundering: verdichting > 95% Proctordichtheid

In [13] wordt dit voorstel voor respectievelijke zandbentoniet- en kleilagen nader uitgewerkt.

Alle controles tezamen dienen tevens een betrouwbaar beeld te geven van het feitelijke productieproces, waarbij het om de volgende aandachtsgebieden gaat:

- zijn de verwachtingen en berekeningen waarvan bij ontwerp uit is gegaan achteraf juist gebleken?
- is op het juiste moment gehandeld en maken de verschillende werkzaamheden voldoende voortgang?
- voldoen de verwerkte of vervaardigde materialen aan de vooraf gestelde kwaliteitseisen en worden deze op de vereiste wijze verwerkt?
- zijn de in het bestek en door het beleid gestelde normen juist en haalbaar?
- voldoen de tijdens de uitvoering mogelijk noodzakelijk gebleken aanpassingen aan de normen en uitgangspunten voor de afdichtingsconstructie?

10.3 Kwaliteitsplan minerale afdichtingen

De uitvoerder stelt aan de hand van het in het contract door de opdrachtgever omschreven kwaliteitssysteem een kwaliteitsplan op. Hierin zijn de procedures omschreven die hij zal hanteren om aan de eisen en voorschriften, waarbij inbegrepen keuring en beproeving, te kunnen voldoen.

Drie soorten produktkeuring zijn te onderscheiden:

- ingangskeuring en beproeving van ontvangen produkten voor verwerking;
- tussentijdse keuring en beproeving tijdens de werkzaamheden;
- eindkeuring en beproeving voor oplevering van het werk.

De uitvoerder moet over een stelselmatige registratie en archivering beschikken en deze op peil houden om hiermede het bewijs te leveren dat de desbetreffende produkten of constructies zijn gekeurd en/of beproefd. De opdrachtgever dient de geregistreerde gegevens in afschrift aan de vergunningverlenende instantie ter beschikking te stellen en overigens in eigen archief op te slaan. Bij gebreken tijdens de nazorg kunnen beproevingen en beproevingsuitslagen wellicht een hulpmiddel vormen bij het analyseren van de oorzaak van gebreken. Aangezien nog maar beperkt ervaring met het realiseren van minerale afdichtingsconstructies bestaat, moet een correcte registratie en archivering van groot belang worden geacht. Deze informatie is tevens basis voor een evaluatie van alle activiteiten voor (keuze van) onderafdichtingsconstructies.

10.4 Proefveld minerale afdichtingen

Aan de hand van een proefveld moet worden aangetoond, dat de materiaalkeuze en het proces van aanleg geschikt zijn om redelijkerwijs het gestelde doel te kunnen bereiken. Zo zal in het veld moeten worden getoetst of de door het vooronderzoek in het laboratorium aangegeven randvoorwaarden haalbaar zijn. De proefvelden zullen met name uitsluitel moeten geven over de toe te passen procedures en werkwijzen. Bij een grote variatie van hellingen kunnen meer proefvelden nodig zijn.

De breedte van een proefveld moet minstens het viervoudige van de breedte van de verdichtingsmachines bedragen en voldoende lengte hebben om de toe te passen optimale verdichtingssnelheid en verdichtingsmethode te kunnen bepalen.

Gedacht wordt aan afmetingen van tenminste 20 x 40 m en een kadelenkte van tenminste 40 m¹.

Op het proefveld dient een beproevingsprocedure te worden gevolgd overeenkomstig tabel 10.1 met dien verstande dat de frequentie wordt bepaald door het tijdens de uitvoering van het proefvak toegepaste aantal processen.

Uitvoering van het werk mag eerst aanvangen als de rapportage over het proefveld is afgerond.

10.5 Kwaliteitsborging synthetische afdichtingsmaterialen

Het kwaliteitsborgingssysteem voor de fabricage van afdichtingsfolies van HDPE dient te zijn gebaseerd op NEN-ISO 9000 en de daarin van toepassing zijnde normen.

Het productieproces dient daarbij volledig te zijn beschreven. In [7], deel I, hoofdstuk 6 worden daartoe beschrijvingen genoemd in de vorm van respectievelijk:

- keuringsplan grondstoffen;
- keuringsplan processturing;
- keuringsplan folie (o.a. controles volgens paragraaf 9.2);
- keuringsplan fabrieksmatige lassen;
- systeem van archivering.

De kwaliteitssystematiek moet zo zijn opgezet, dat deze is in te passen in een systeem van certificering.

Certificering en steekproefsgewijze controle door de certificerende instantie en/of eigen controleafdeling van de fabrikant kan tot een vereenvoudiging van het pakket van controle-onderzoeken leiden.

10.6 Kwaliteitsborging aanleg en acceptatie folieafdichtingen

Het kwaliteitsborgingssysteem voor aanleg en acceptatie van folieafdichtingen met de daarin opgesloten controles is beschreven in [8] par. 5.5 en [7], deel II.

Acceptatie van gerealiseerde folieafdichtingen kan plaatsvinden indien is voldaan aan [8] paragraaf 5.5. In die paragraaf is de controlesystematiek bij realisatie samengevat. Dit betekent, dat meer specifiek moet worden voldaan aan de "Protocollen" [7], deel I en II.

In [7] deel II, par. 2.2, is aangegeven, dat door de folieverwerkende aannemer een zogenaamd "legplan" en een "uitvoeringsplan" dient te worden opgesteld op basis van de werkomschrijving (bestek).

In deel II, hoofdstuk 3 is de samenhang daarvan met andere onderdelen van het kwaliteitsborgingssysteem aangegeven.

Aangezien de folie wordt verwerkt op de minerale afdichtingslaag (combinatie-afdichting) dan wel op een als fundering fungerende zandlaag (gescheiden uitvoering van de combinatie) stelt het aanbrengen van een geomembraan eisen aan deze ondergronden. Naast verdichting en draagkracht ontstaan daarbij vooral vlakheidseisen.

Met name onvlakheid over korte afstand, bijvoorbeeld door rijsporen, dient in het onderliggende materiaal te worden voorkomen ter wille van kwaliteitsbehoud van het geomembraan en het tot standbrengen van een goede aansluiting van dit membraan op de minerale laag.

10.7 Certificering uitvoerende bedrijven

Naast de certificering van de fabricage van folies, zoals genoemd in par. 10.5 hiervoor, is het mogelijk de realiserende bedrijven te certificeren. Dit geldt zowel voor foliewerkende bedrijven als bedrijven die een minerale afdichtingslaag realiseren. De daarbij als uitgangspunt te hanteren opzet en borging van het kwaliteitssysteem zullen voor het aanbrengen van beide typen afdichtingen veel overeenkomst vertonen.

Uitvoeringstechnisch zal voor afdichtingsfolies het zwaartepunt liggen op het leggen en lassen van banen en het maken van reparaties, hetgeen met name leidt tot het kwalificeren van lassers en las- en controle-apparatuur (erkenningsregeling, lassercertificaat).

Bij minerale afdichtingsconstructies is voldoende borging en systematiek nodig bij een reeks van processen, waaronder mengen, opslag, aanbrengen en eigen controles.

Certificering van folieverwerkende bedrijven is in principe mogelijk door KIWA Certificatie en Keuring NV op basis van het document KIWA BRL-K 537/01.

Met het certificeren van de realisatie van minerale afdichtingslagen is nog geen ervaring opgedaan.

In de loop van 1993 zal door de CUR-onderzoekscommissie C85 een aanbeveling worden uitgebracht voor toepassing en controle van zand-bentonietlagen in afdichtingsconstructies. Een uitwerking van het kwaliteitszorgsysteem wordt opgenomen in [13].

11 BEHEER EN HERSTEL

11.1 Controle, onderhoud en beheer van voorzieningen

Aangezien de voorzieningen behorende tot de onderafdichtingsconstructie gedurende een lange reeks van jaren dienen te functioneren, is een goede uitvoering van controle en beheer essentieel. Hierbij dient onder controle te worden verstaan het waarnemen van (veranderingen in) de werking van de verschillende voorzieningen alsmede het inspecteren van de technische staat (rest-levensduur). Een belangrijk hulpmiddel hierbij is het bemonsteren en analyseren van percolaat en grondwater.

Aangezien de isolerende werking van voorzieningen in hoofdzaak wordt gecontroleerd door het waarnemen van stoffenconcentraties en wijzigingen daarin in het grondwater, ontstaat een nadruk op het in stand houden van de horizontale en verticale waarnemingsystemen (hoofdstuk 3). Na aanbrengen van de bovenafdichting zal de functie van het percolaatdrainagesysteem (hoofdstuk 5) nog zijn het afvoeren een nalevering van percolaat uit het afval en vervolgens nog van door de bovenafdichting geïnfiltrerd regenwater, en in die zin daarvoor een controlemiddel zijn gedurende een zeer lange periode. Interpretatie van deze "percolaat"-controle-waarnemingen op langere termijn dient met het nodige voorbehoud plaats te vinden. Een grotere afvoer vanuit het stort dan verwacht kan behalve door lekkage van de bovenafdichting ook andere oorzaken hebben (instroom via doorvoeringen of door buizen, uitzakken van schijnspiegels, lekkage onderafdichting bij kunstmatige geohydrologische isolatie, e.d.). Onderzoek is nodig om een verklaring te vinden indien de waarnemingen niet overeenkomen met de verwachtingen.

Hoofdbestanddelen van het beheer van een stortterrein zijn het instandhouden (organisatie tot inspectie en beheer), het onderhoud (toezicht, reparatie) en het treffen van ingrijpende maatregelen ingeval van falen van de voorzieningen (bijvoorbeeld geohydrologische isolatie). Gezien de samenhang met de afdichtende constructie zullen hier alleen de maatregelen en initiatieven voor controle, inspecties en onderhoud worden behandeld. In tabel 11.1 zijn de hoofdonderdelen van de isolerende-, controle- en beheersvoorzieningen aangegeven die bij een onderafdichting van een afvalberging aanwezig kunnen zijn. Voor elk van de voorzieningen zijn inspectie, controlemogelijkheden en -intervallen vermeld, alsmede de meest voorkomende onderhoudsactiviteiten. Daarbij zijn volledigheidshalve ook de grondwatermonitoring en het rapporteren opgenomen, aangezien deze activiteiten enerzijds passen in het beheer van de voorzieningen en anderzijds vaak zijn opgenomen in de Afvalstoffenwet-vergunning (AW) (in de toekomst Wet Milieubeheer) of in de vergunning inzake de Wet verontreiniging oppervlaktewater (WVO).

De tabel kan als basis worden gehanteerd voor het opstellen van programma's en kostenramingen voor nazorg.

11.2 Herstelmogelijkheden bij storingen of gebreken

Indien door een storing het functioneren van een of meerdere constructieonderdelen geheel of gedeeltelijk onmogelijk wordt en dit direct of indirect leidt tot een verhoogde infiltratie, zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk. Een storing kan pas als zodanig worden aangemerkt, als deze gesignaleerd wordt.

Dit houdt niet alleen in het waarnemen van een verandering in systemen, maar ook een analyse van de oorzaak, de omvang van de storing en de negatieve effecten op korte en lange termijn. Op grond van deze analyse moet beoordeeld worden in hoeverre het functioneren van het totale systeem van isolatie in gevaar komt, welke invloed dit heeft op emissies naar de bodem en naar de omgeving, het functioneren van de overige constructieonderdelen en op welke termijn herstel noodzakelijk is of nader onderzoek gewenst is.

Interpretatie van gemeten wijzigingen/veranderingen dient gezien de duur van processen en het verschillend gedrag van stoffen zorgvuldig plaats te vinden.

Hierbij dient het werkelijk afvalaanbod te worden vergeleken met het oorspronkelijk geprognoseerde aanbod en de aard van maatregelen die vaak reeds in het planstadium (MER) zijn aangegeven als oplossing bij het falen van voorzieningen. Analyse van de effecten van de storing op korte en lange termijn is richtinggevend voor de te treffen maatregelen. Afgewogen wordt of de maatregelen tijdelijk of definitief van aard moeten zijn. Ook de hierna beschreven storingsmogelijkheden en technische levensduuraspecten kunnen hierbij een rol spelen.

Grondwatercontrolesysteem

Het verticale waarnemingssysteem bevindt zich buiten het eigenlijke stortoppervlak, zodat vervangen te allen tijde mogelijk is. Het horizontale systeem daarentegen ligt onder de afdichtingen. Hoewel voorspellingen omtrent levensduur moeilijk zijn te geven, wordt aangenomen dat de levensduur van een horizontaal systeem tenminste 40 jaar zal bedragen. Voor vervangen komen alleen horizontale, sleufloze technieken in aanmerking. Deze zijn sterk in ontwikkeling, zodat mag worden aangenomen dat, indien vervangen werkelijk zou moeten plaatsvinden (geen andere vervangende waarnemingstechnieken beschikbaar), dit te zijner tijd uitvoerbaar zal zijn.

Onderafdichtingslagen

De technische levensduur van een synthetische afdichtingslaag wordt geschat op tenminste 30 jaar (zie [4] en [5]) voor een onderafdichting. De levensduur van een minerale afdichtingslaag zal op basis van de huidige materiaalinzichten naar verwachting vele duizenden jaren bedragen (mogelijk geologische tijdperken).

Vervangen van de afdichtingen moet vooralsnog als niet mogelijk worden verondersteld.

Drainerende zandlagen

Voor zover drainerende zandlagen (goed doorlatende lagen) grondwater of grondwater met een zeer geringe hoeveelheid percolaat transporteren, kan de technische levensduur eveneens als zeer groot worden verondersteld.

Dit geldt met name bij situering tussen minerale lagen en bij geohydrologische isolatietechnieken.

De drainerende zandlaag boven de onderafdichting wordt sterk bedreigd door stoffen in het percolaat en (bij afval met een hoog gehalte verteerbaar organisch materiaal) microbiologische afzettingen.

Bij de verwachte ombuiging in het stortbeleid (minder organisch materiaal) kan deze bedreiging mogelijk kleiner worden. Onderzoek naar de condities en afvalsamenstelling bij toekomstige stortterrein is gaande (RIVM). Voor de huidige AW-stortterreinen kan veiligheidshalve worden aangenomen dat de oorspronkelijke doorlatendheid van de zandlaag binnen 5 jaar tot minder dan 50% daarvan zal afnemen. Bij incidentele opgravingen bij afvallichamen die 5 jaar en meer zonder bovenafdichting aanwezig waren geweest, werd in alle gevallen een verhoogde intree-weerstand (grenslaagvorming), doch slechts een geringe vermindering van de doorlatendheid van het zandbed als zodanig waargenomen. Vooralsnog geldt dat naarmate een bovenafdichting eerder wordt aangebracht een hogere restdoorlatendheid van het zandbed mag worden verwacht.

Percolaatonttrekkingssysteem

Van het HDPE-drainbuisstelsel mag een levensduur worden aangenomen van tenminste 30 jaar bij de huidige materiaalinzichten. Onderzoek naar verlies van sterkte door langdurige chemische belastingen vindt incidenteel plaats. Mogelijk kan onderzoek naar verlies van vloeistofdichtheid, wat voor hdpe-folies is en wordt uitgevoerd (KRI/TNO) voor langdurige belastingen, ook voor buismaterialen indicaties geven voor materiaalverlies of structuurveranderingen in het materiaal.

Percolaatafvoersysteem

Het afvoersysteem (hiertoe te rekenen de inspectieschacht binnen de eindkade, het doorvoerstuk in de eindkade en leiding met toebehoren buiten de eindkade) is in principe vervangbaar. Werkzaamheden binnen de bovenafdichting zijn uiteraard bewerklijker dan daarbuiten. Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat de technische levensduur bij vergelijkbare ontwerpparameters tenminste die van het onttrekkingssysteem zal zijn.

Grindlagen en grindkoffers

Een grindlaag onder een afdichtingsconstructie zal kunnen functioneren (2.4.2) zolang geen inspoeling van gronddeeltjes plaatsvindt en is daarmee afhankelijk van het opsluitende geotextiel. Van het aanbevolen polyester weefsel mag in de actuele terreincondities een levensduur van tenminste 30 jaar worden verondersteld. Onderhoud en vervangen kunnen als niet mogelijk worden aangenomen.

Een grindlaag en een grindkoffer direct onder de stortzool zullen meer onderhevig zijn aan inspoeling aangezien hier een fijn filter niet mogelijk is bij het huidige afvalaanbod. Dit betekent in principe een kortere levensduur.

In welke mate de bedreigingen veranderen bij wijzigend stortaanbod zal nader moeten worden onderzocht. In het algemeen is aannemelijk dat de rest-levensduur kleiner zal zijn als de bovenafdichting eerst op een laat moment wordt aangebracht.

Naarmate meer watertransport door de grindlaag plaatsvindt zal het effect van inspoeling beperkt zijn. Bij een werkend percolaatonttrekkingsstelsel zal evenwel het watergehalte van de grindlaag gering zijn, zodat in sterkere mate chemische en microbiologische afzettingen zullen optreden. Een en ander pleit voor het kort na storten aanbrengen van de bovenafdichting. Vervangen en onderhoud kunnen als niet mogelijk worden verondersteld.

Tabel 11.1: Controle, onderhoud en beheer van voorzieningen

hoofdelement/onderdelen	voorzieningen	inspectie	maatregelen
1 Controles op functieverlies			
- onderafdichting	- contr. drains, peilbuizen	- volgens AW/WVO vergunning	- bemonstering, analyse, rapportage
- vloeistofstroming drains, leidingen	- grondwater, percolaat, dralnagelaag	- 2x per jaar in schachten	- onderzoek, rapportage
- gaslekkages	- afwerklaag, drains eindafwerking, schachten percolaatsysteem	- 1x per jaar meth. gasmeting	- onderzoek, rapportage
- zetting bodem	- vaste zakbaken	- 1x per jaar waterpassen	- Instandhouden merken, rapport
- technische staat	- alle voorzieningen	- 1x per jaar	- schatting restlevensduur, rapport
2 Gasonttrekking			
a aanzuiginrichting	- aanzuiger	- 6x per jaar	- elektromechanische onderhoud
	- condenswaterafvang	- Idem	- reinigen
	- buizenet	- 2x per jaar	- bij zakkingen waterslot opheffen
	- fakkelinrichting	- wekelijks viam	- maandelijks reiniging, onderhoud
b gasbronnen	- aansluitingen, bron	- 6x per jaar controle prod.	- reparatie, opheffen lekkages
c hor. gasdrains	- aansluitingen, watersloten	- Idem	- doorspuiten elke 1 à 2 jaar
3 Teenconstructie/kaden			
a afvoer regenwater	- teendrainage en afvoer	- 2x per jaar; verwerking maaiveld aansluiting	- reiniging, reparatie
	- inspectie schachten	- Idem;	- Idem, onderhoud deksels
	- drainaansluitingen, doorspuitpunten	- Idem;	- Idem; doorspuiten elke 2 à 4 jaar
	- afvoerleidingen	- Idem; in schachten	- Idem
	- lozingspunt	- Idem; analyse watermonster	- Idem; coördinatie waterbeheerder
b afvoer percolaat	- verzamelleiding	- 2x per jaar; verweken teen; beproeven dichtheid	- reiniging, reparatie
	- schachten	- Idem	- Idem
	- aansluitingen	- Idem	- Idem
	- doorvoeringen	- Idem; analyse watermonster	- Idem; grondwateranalyse
	- pompput, persleiding, lozingspunt	- storingsmelder; proefdraaien	- Idem; elektro-mechanisch onderhoud; coördinatie RWZI
c afdichtingen in kaden	- afdichtende laag	- 1x per jaar zettingen, verweking	- aanvulling, reparatie
	- doorvoeringen	- 1x per jaar, gasmeting	- reparatie, grondwateranalyse
	- laag aansluitingen	- Idem	- aanvulling reparatie
4 Percolaatopvangsysteem			
a percolaatafvoer	- zie 3.b	- 3.1.2c 3.1.2	- Idem 3.b
b percolaatopvang	- percolaatdrainage	- tv-camera	- doorspuiten 1 à 2x per jaar
	- inspectieschachten	- 2x per jaar in schacht, later 1x per 2 jaar	- reiniging, onderhoud
5 Grondwatermonitoring			
a controledrainage	- verzamelleiding, doorspuitpunten	- 2x per jaar	- reiniging, reparatie
	- drains	- bij bemonstering volgens vergunning	- doorspuiten elke 3 à 5 jaar
	- pompput, persleiding	- 1x per jaar; Idem 3.b onderhoud	- elektro-mechanisch
	- lozingspunt	- 2x per jaar	- coördinatie waterkwaliteit beheerder, waterschap
b peil/bemonsteringsbuizen	- diep en ondiep	- 1x per jaar	- bemonstering uitgebreid conform vergunningen
	- achter folie-/ ZB-doorvoeringen	- 2x per jaar, buis kan later vervallen	- bemonstering beperkt (indicatief)

Grindkoffers bij een percolaatdrainagesysteem worden ruim gedimensioneerd, terwijl de openingen van de drains verder transport door inspoelen (bij onderhoud te verwijderen) van meegevoerde deeltjes mogelijk maken. Afzettingen op de drain en in de grindkoffer zullen geringer zijn dan in een hoger gelegen grindlaag. Oxidatieverschijnselen kunnen worden geremd door het toetreden van lucht te beperken. Bij het doorspuiten van het percolaatdrainagesysteem kan de spuitkop zodanig worden gekozen dat ook de grindomhulling kan worden bereikt. Om deze redenen is functieverlies van de grindkoffer binnen de technische levensduur van de percolaatdrainage niet waarschijnlijk.

De samenstelling van de grindkoffer is mede afhankelijk van de aard van het afvalaanbod. Zeer hoge kalkgehaltenes en andere makkelijk uitloegbare stoffen die functieverlies voor een grindkoffer (en voor het zandbed) kunnen veroorzaken, kunnen ten dele zijn gecompenseerd door een andere aanpak, doch vaak zullen deze stoffen leiden tot een kortere levensduur.

Samenvattend kan gesteld worden dat afwijkende waarnemingen dienen te worden geanalyseerd op zowel technische als procestechnische oorzaken. Bij het bepalen van maatregelen zal op grond van mogelijkheden, ernst en omvang van de storing sprake zijn van:

- aanpassingen (bijvoorbeeld reparatie);
- reconstructiemaatregelen: herstel of vervangen van (delen van) bodem-beschermende voorzieningen (bijvoorbeeld kaden, schachten, afsluiters, leidingen, pompen e.d.);
- aanbrengen van een andere constructie.

De voor te stellen maatregelen zullen getoetst moeten worden op onder andere (blijvende) effectiviteit op (on)doorlatendheid, betrouwbaarheid, ervaringen met te kiezen methode, controleerbaarheid van de reparatie, schadelijke neveneffecten, beïnvloeding overige kenmerken (ontwatering, stabiliteit, bodemtoxiciteit, draagkracht), beïnvloeding van gebruiksfuncties etc. De herinrichting en gebruiksvorm van een stortterrein in de nazorgperiode kunnen eveneens sterk bepalend zijn bij de keuze van de maatregelen.

Reeks bodembescherming

- 1991/1 Toepassingswijzen en milieuhygiënische aspecten van bouwstoffen
- 1991/2 Richtlijnen voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen
- 1991/3 Samenstelling en uitloging van bouwstoffen
- 1991/4 Handleiding voor ontwerp en constructie van eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen
- 1991/5 Richtlijn voor het toepassen van geomembranen ter bescherming van het milieu

- 1992/1 Achtergrondgehalten van negen sporen-metalen in oppervlaktewater, grondwater en grond van Nederland

- 1993/1 Richtlijn drainagesystemen en controlesystemen grondwater voor stort- en opslagplaatsen
- 1993/2 Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen
- 1993/3 Mogelijkheden voor de aanpak van in het verleden behandelde ondergrondse tanks + Handleiding