

TNO-rapport

Div499. 1097

(vorige versie nr. 794/'92)

TNO Industrie

**Divisie Materiaaltechnologie
De Wielen 6
Postbus 6235
5600 HE EINDHOVEN**

**Telefoon 040 2650300
Fax 040 2650301**

**Divisie Productonderzoek
Schoemakerstraat 97
Postbus 6031
2600 JA DELFT**

**Telefoon 015 2696533
Fax 015 2566308**

PROTOCOLLEN VOOR HET TOEPASSEN VAN KUNSTSTOF GEOMEMBRANEN TEN BEHOEVE VAN BODEMBESCHERMING

Deel I Materialen

Datum
Augustus 1999

Herzien door
J. Breen

Projectnummer
007.40177

Oprachtgever
Plan Bodembeschermende Voorzieningen

Aansprakelijkheid

TNO en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en TNO sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens de TNO en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Bestelwijze

Extra exemplaren van dit rapport kunnen besteld worden door overmaking van f 30,- op bankrekening 515911291 t.n.v. TNO Industrie, onder vermelding van "Protocollen geomembranen, Deel I", Rapport DIV499.1097

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	2
VOORWOORD (VERSIE 1999)	5
1 INLEIDING	7
2 FUNCTIONELE EIGENSCHAPPEN	9
2.1 INLEIDING	9
2.2 EIGENSCHAPPEN	10
2.2.1 <u>Materiaaldikte</u>	10
2.2.2 <u>Mechanisch gedrag</u>	11
2.2.3 <u>Bestandheid tegen chemicaliën</u>	15
2.2.4 <u>Veroudering</u>	16
2.2.5 <u>Bestandheid tegen aantasting van biologische aard</u>	17
2.2.6 <u>Verbindingstechniek</u>	17
2.3 MATERIALEN	17
2.3.1 <u>Kunststoffen</u>	18
2.3.2 <u>Rubbers</u>	22
2.3.3 <u>Barrièrelagen</u>	23
3 FUNCTIONELE EISEN	23
3.1 INLEIDING	24
3.2 TOEPASSINGSGEBIEDEN	24
3.3 BELASTINGEN	25
3.4 EISEN	25
3.4.1 <u>Inleiding</u>	25
3.4.2 <u>Nader uitgewerkte eisen</u>	26
3.4.3 <u>Samenvatting functionele eisen</u>	37
3.5 EISEN PLAAT- EN BUISMATERIAAL	38
4 EVALUATIE VAN AFDICHTINGSFOLIES	39
5 CONTROLE-EISEN	43
5.1 INLEIDING	43
5.2 EISEN AAN HET FOLIEMATERIAAL	43
5.2.1 <u>Uiterlijk</u>	43
5.2.2 <u>Afmetingen</u>	43

5.2.3	<u>Vouwbaarheid bij -20°C.</u>	44
5.2.4	<u>Mechanische doorslagsterkte</u>	45
5.2.5	<u>Krimp door expositie bij verhoogde temperatuur</u>	45
5.2.6	<u>Trekeigenschappen</u>	45
5.2.7	<u>Doorscheursterkte</u>	46
5.2.8.	<u>Trekslagsterkte</u>	47
5.2.9	<u>Weerstand tegen spanningscorrosie</u>	47
5.2.10	<u>Thermische stabiliteit</u>	47
5.2.11	<u>Carbonblack gehalte</u>	47
5.2.12	<u>Weekmakerverlies</u>	47
5.3	EISEN AAN FABRIEKSMATIG VERVAARDIGDE VERBINDINGEN	47
5.3.1	<u>Uiterlijk</u>	47
5.3.2	<u>Afpeelsterkte</u>	48
5.3.3	<u>Trekslagsterkte</u>	48
5.3.4	<u>Lekdichtheid</u>	48
6	UITVOERING KWALITEITSBORGINGSSYSTEEM	49
6.1	INLEIDING	49
6.2	KEURINGSPLAN GRONDSTOFFEN	50
6.3	KEURINGSPLAN AFDICHTINGSFOLIE	51
6.4	KEURINGSPLAN VERBINDINGEN	51
6.5	CERTIFICATIE	51
7	BEPROEVINGSMETHODEN	54
7.1	INLEIDING	54
7.2	BEPROEVING OP FUNCTIONELE EISEN	54
7.2.1	<u>Spleetdrukproef</u>	54
7.2.2	<u>Bepaling langeduur thermische veroudering</u>	54
7.2.3	<u>Bepaling van de chemische resistentie</u>	54
7.2.4	<u>Bepaling van de uitloging door water</u>	55
7.2.5	<u>Bepaling van de UV-resistentie</u>	55
7.2.6	<u>Bepaling van de weerstand tegen microbiologische invloeden</u>	56
7.2.7	<u>Bepaling van de weerstand tegen wortelgroei</u>	56
7.2.8	<u>Bepaling van weerstand tegen diervraat</u>	56
7.2.9	<u>Bepaling van de permeatie</u>	56
7.2.10	<u>Bepaling van de extractie door water</u>	58
7.3	BEPROEVING OP CONTROLE EISEN	58
7.3.1	<u>Beoordeling van het uiterlijk</u>	58
7.3.2	<u>Bepaling van de afmetingen</u>	58
7.3.3	<u>Bepaling van de vouwbaarheid bij lage temperatuur</u>	58
7.3.4	<u>Bepaling van de mechanische doorslagsterkte</u>	59
7.3.5	<u>Bepaling van de krimp bij verhoogde temperatuur</u>	59
7.3.6	<u>Bepaling van de trekeigenschappen</u>	59
7.3.7	<u>Bepaling van de doorscheursterkte</u>	61

7.3.8	<u>Bepaling van de trekslagsterkte</u>	62
7.3.9	<u>Bepaling van de weerstand tegen spanningscorrosie</u>	62
7.3.10	<u>Bepaling van de thermische stabiliteit</u>	63
7.3.11	<u>Bepaling van het weekmakerverlies</u>	64
7.3.12	<u>Bepaling van het carbonblack gehalte</u>	64
7.3.13	<u>Bepaling van de afpelsterkte</u>	64
8	VERKLARENDE WOORDENLIJST	66
9	LITERATUUR	68

VOORWOORD (VERSIE 1999)

De basiseisen voor de isolerende voorziening op basis van geomembranen zijn vastgelegd in de "Richtlijn voor het toepassen van geomembranen ter bescherming van het milieu"¹. Deze richtlijn wordt verder aangeduid met "Richtlijn Geomembranen". In deze richtlijn wordt uitgegaan van het grondbeginsel, dat de stort- of opslagplaats, waarvan de isolerende voorziening een onderdeel vormt moet voldoen aan de zogenoemde IBC-criteria (Isoleren, Beheersen, Controleren) met het doel behoud van bodemkwaliteit. Van geval tot geval zal op grond van de bodembedreigende situatie beoordeeld moeten worden welk beschermingsniveau vereist wordt. In de Richtlijn zijn functionele eisen gespecificeerd voor de constructie van de isolerende voorziening.

Deze functionele eisen resulteren in basiseisen aan het foliemateriaal, waaruit het geomembraan bestaat, en aan de aanleg. De "Protocollen voor het toepassen van kunststof geomembranen ten behoeve van bodembescherming" gaan in op de basiseisen aan het foliemateriaal en op het verbinden van foliebanen onderling en van foliebanen met doorvoeren en andere details, die bepalend zijn voor het beschermingsniveau van de constructie. Deel I is gewijd aan de materialen voor stortplaatsen en deel II aan de aanleg en de acceptatie van de voorziening. Verder wordt in deel II een algemene leidraad gegeven voor het toepassen van vloeistofdichte kunststof folies.

De protocollen hebben het karakter van een handleiding op grond waarvan een verantwoorde materiaalkeuze kan worden gedaan voor een bepaalde toepassing. Verder worden methoden aangegeven, waarmee kan worden aangetoond, dat aan de Richtlijn Geomembranen wordt voldaan.

De protocollen zijn bestemd voor alle instanties, die betrokken zijn bij het toepassen van geomembranen als vloeistofdichte laag. De protocollen kunnen in combinatie met de Richtlijn Geomembranen worden gebruikt voor bodembescherming op bedrijfsterreinen. Daarbij is de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten (NRB)² van toepassing. In NRB is in paragraaf 6.7 specifiek aandacht besteed aan geomembraansystemen.

Hoewel in de NRB enkele andere begrippen worden gehanteerd dan in de Richtlijn Geomembranen, zijn er geen fundamentele inhoudelijke verschillen. Vloeistofdichtheid is de tegenhanger van doorlatendheid, inspectie en onderhoud zijn vervangend voor beheersen en controleren, terwijl levensduur synoniem is voor duurzaamheid.

De onderliggende protocollen vormen een herziening van de "Protocollen voor het toepassen van kunststof geomembranen ten behoeve van bodembescherming", versie 1992; TNO rapport nr. 794/'92 en nr. 795/'92, en werden opgesteld in opdracht van Ministerie VROM, Directoraat Generaal Milieubeheer in het kader van PBV (Plan Bodembeschermende Voorzieningen, fase 11). Als coördinator fungeerde Ing. P.A. Ruardi van VROM. Tot de herziening werd besloten op grond van signalen uit de praktijk. De las- en controlemethoden zijn geëvolueerd. Hiernaast zijn een aantal detailoplossingen uitgekristal-liseerd en heeft er een ontwikkeling in de toe te passen materialen plaatsgevonden. NGO en NIL hebben met managementondersteuning van PMP op deze basis een project ingediend bij PBV.

¹ De "Richtlijn voor het toepassen van geomembranen ter bescherming van het milieu" is nog verkrijgbaar via TNO.

² BO1, BODEM, "Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten", NRB, InfoMil, Den Haag (1997).

Voor het herzien van de protocollen werd de volgende commissie samengesteld:

R.M. Bodamèr	KA Techniek
J. Breen	TNO Industrie
H. de Bruijn	Röntgen Technische Dienst BV
H.J.L. Geusebroek	Grontmij Advies & Techniek BV
W.F. ten Hoeven	Arcadis Heidemij Advies BV
T.A. der Kinderen	
A.P. de Lange	Cofra BV
P.C.G. Langeveld	TNO Industrie
M.J.A. van Leth	Haskoning
C. van Ommeren	Genap BV
Mw. P.M. Oude Weme	KEMA Nederland BV
A.M. Peters	Kiwa NV
P.A. Ruardi	Ministerie VROM/DGM/Bodem
J.M.H.J. Smit	CUR
A. Steerenberg	NGO
C.W.M. Theuns	Naue Benelux
G.H.G. Vaessen	PMP
H.J. Varossieau	Verder Vleuten
J. de Vries	Bouwdienst RWS

De bijdragen van met name KIWA te Rijswijk, RTD te Rotterdam, KEMA te Arnhem, Genap te 's-Heerenberg, Cofra te Amsterdam, Haskoning te Nijmegen, KA Techniek te Zeewolde, Grontmij te Houten, Bouwdienst RWS te Utrecht en van de heer Der Kinderen, opsteller van de vorige Protocollen, werden hierbij als zeer constructief ervaren.

De concepten van deze protocollen werden met verzoek om commentaar toegestuurd aan ontwerpers, bestekschrijvers, aannemers, verleggers, controlerende instanties en betrokken overheidsinstanties. Het toegezonden commentaar is voor zover dit mogelijk was in de definitieve versies verwerkt.

Deel I, Materialen geeft na een inleiding over de eigenschappen van kunststoffen een opsomming van de functionele eisen, waaraan een kunststof geomembraan moet voldoen. Vervolgens wordt een globaal overzicht gegeven van de eigenschappen van de diverse foliematerialen. Dit deel wordt afgesloten met een opsomming van controle eisen en van de toe te passen proefmethoden. Een speciaal hoofdstuk is gewijd aan kwaliteitszorg.

Deel II, Aanleg en acceptatie, geeft richtlijnen over de uitvoering van de aanleg en de daarbij te hanteren kwaliteitszorg. Het gaat tevens in op verbindingstechnieken voor folies, op de beoordeling van de kwaliteit van lassen en op de kwalificatie van lasmethoden en lassers. Verder wordt in deel II een algemene leidraad gegeven voor het toepassen van vloeistofdichte kunststof folies.

Bij het opstellen zijn de internationale ontwikkelingen gevolgd, in het bijzonder in CEN.

Wegens algemeen geldig spraakgebruik is bij de benaming van de kunststoffen bij Polyetheen afgeweken van de genormaliseerde namen; PE-HD wordt aangeduid met HDPE.

Eindhoven, juli 1999.

1 INLEIDING

Acceptatie van bodembeschermende voorzieningen, waarbij afdichtingsfolie wordt toegepast, vindt plaats wanneer aan de eisen vermeld in de "Richtlijn voor het toepassen van geomembranen ter bescherming van het milieu"¹, Par. 5.5. wordt voldaan. Methoden om vast te stellen dat aan deze eisen wordt voldaan worden voor de materialen weergegeven in deel I van deze protocollen, voor de aanleg en de acceptatie daarvan in deel II. Beide delen van dit protocol hebben het karakter van een handleiding op bovengenoemde Richtlijn, verder kortweg aangeduid met "Richtlijn Geomembranen". Daarnaast echter worden in deze protocollen in een aantal gevallen nadere eisen gesteld, naar aanleiding van nationale en internationale ontwikkelingen sinds het uitkomen van de Richtlijn. Dit betreft onder andere eisen aan de geometrie en het uiterlijk van de lassen, de eisen te stellen bij de afpelproef en concrete eisen aan de folies, onder andere wat betreft de chemische resistentie en de weerstand tegen spanningscorrosie, voor toepassing bij stortplaatsen voor huishoudelijk en daarmee gelijkgesteld industrieel afval.

Acceptatie van de voorziening kan plaats vinden:

- wanneer de folie voldoet aan de eisen vermeld in deel I van deze protocollen.
- wanneer de uitvoering van het leggen, het onderling verbinden van de folies en de afwerking voldoen aan de eisen gesteld in deel II van deze protocollen.

De protocollen zijn toepasbaar voor alle bodembeschermende voorzieningen en voorzieningen in de weg- en waterbouw waarbij kunststof folie wordt toegepast, maar zijn in het bijzonder gericht op de aanleg van de onderafdichting en de bovenafdichting van stort- en opslagplaatsen zoals vermeld in hoofdstuk 1 van de Richtlijn Geomembranen. Voor andere toepassingen van afdichtingsfolies dan voor stort- en grootschalige opslagplaatsen kunnen aangepaste regels en voorschriften verschijnen. Dit is onder andere reeds geschied voor de voorzieningen voor opslag van mest.

Dit deel van de protocollen handelt in hoofdzaak om de materialen waarvan kunststof folies worden gemaakt. Het betreft met name kunststof folies, die bij de aanleg van opslag- en stortplaatsen worden gebruikt als afschermend membraan en als isolerende voorziening in zowel onderafdichtingen als bovenafdichtingen. Hiernaast worden kunststof folies onder andere toegepast als isolerend membraan in civiele werken en waterbassins. In Nederland worden daartoe momenteel aangeboden folies van hoge dichtheid polyetheen (HDPE), geflexibiliseerd HDPE (HDPE-flex), lineair lage dichtheid polyetheen (LLDPE), lage dichtheid polyetheen (LDPE), geflexibiliseerd lage dichtheid polyetheen (LDPE-flex), zeer lage dichtheid polyetheen (VLDPE), weegemaakt polyvinylchloride (PVC-P), polypropreen (PP) en materialen gebaseerd op (thermoplastische) elastomeren¹.

Naast gladde enkellaagsfolies worden ook meerlaagsfolies, folies met een weefsel (gewapende en versterkte folies) en folies met een zekere oppervlakte-ruwheid of structuur (o.a. geprofileerde folies) aangeboden. Een voorbeeld van een meerlaagsfolie is de signaalfolie, die al in geringe mate wordt toegepast. Het betreft dan een tweelaags-coextrusie folie bestaande uit lagen van hetzelfde type HDPE, waarbij aan de lagen verschillende kleurstoffen zijn toegevoegd. De signaal-folies hebben tot doel relatief kleine beschadigingen in het folie-oppervlak duidelijk zichtbaar te maken.

Bovengenoemde kunststoffen zijn synthetische materialen met een vrij goede bestandheid tegen chemische en bacteriologische aantasting. Zij worden op rollen geleverd en zijn betrekkelijk eenvoudig te installeren. In mechanisch opzicht zijn alle folies vrij kwetsbaar. Ter verbetering van de bestandheid tegen UV-licht en atmosferische invloeden zijn toevoegingen noodzakelijk. Bij lage temperatuur kunnen bepaalde folies brosser worden. Bij normale temperatuur verdwijnt deze brosheid weer. Evenzo worden

¹ Momenteel wordt ook VFPE (very flexible: zeer flexibel) PE aangeboden. Het betreft hier veelal een PE materiaal op basis van LLDPE.

de meeste folies bij hoge temperatuur tijdelijk soepeler en minder sterk.

Voor de materialen, die op het moment van schrijven van deze protocollen vrij algemeen worden toegepast, zijn controle-eisen aangegeven. Nieuwe materialen zullen aan de functionele eisen moeten voldoen. Daarnaast zullen voor deze materialen controle-eisen moeten worden opgesteld in overleg tussen de certificerende instantie en de fabrikanten.

Deel I van deze protocollen is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 1 wordt een algemene inleiding gegeven.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op een aantal eigenschappen van kunststoffen en rubbers, die voor deze toepassing van belang zijn.

In hoofdstuk 3 worden de functionele eisen besproken waaraan de folies moeten voldoen. Hierbij wordt naast onderscheid op grond van de eerder genoemde functionele eisen voor de afdichtingsconstructie uit de Richtlijn Geomembranen, in bepaalde gevallen onderscheid gemaakt tussen 5 toepassingsgebieden (par. 3.2). De veelal geabstraheerde functionele eisen worden voor zover mogelijk omgezet in concrete technische eisen, waarbij tevens op de achtergronden van enige van de proefmethoden wordt ingegaan. Tevens wordt ingegaan op de kwalificatie van de te gebruiken grondstoffen en op het eventueel toepassen van hergebruikt materiaal.

In hoofdstuk 4 wordt aangegeven wat van een aantal typen folie kan worden verwacht indien zij aan de eisen in deze protocollen voldoen.

In hoofdstuk 5 worden de eisen en methoden weergegeven, aan de hand waarvan kan worden vastgesteld dat de folie op de juiste wijze van het juiste materiaal is gefabriceerd.

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de uitvoering van het in de Richtlijn Geomembranen verplicht gestelde kwaliteitssysteem.

In hoofdstuk 7 zijn de proefmethoden weergegeven. Wanneer hierbij naar een norm wordt verwezen wordt globaal aangegeven wat deze inhoudt.

In hoofdstuk 8 is een beperkte verklarende woordenlijst opgenomen.

Bij het schrijven van deze protocollen werd van het volgende uitgegaan:

1. Voor zover geen gecertificeerde foliematerialen worden gebruikt het aanbeveling verdient in bestekken te stellen dat aan de hand van rapporten van onafhankelijke, ter zake kundige, instituten moet worden aangetoond, dat voor de onderhavige toepassingen (I t/m V) aan de eisen vermeld in tabel 6.1, type A en B, wordt voldaan. De eisen type C en D kunnen worden gesteld bij wijze van afnamekeuring. Voor HDPE, lage dichtheid PE (LLDPE, VLDPE, LDPE), geflexibiliseerde PE materialen, EPDM en PVC-P materialen certificaten kunnen certificaten worden afgegeven, gebaseerd op deze protocollen, door door de Raad van Accreditatie erkende of geaccrediteerde certificatie-instellingen.^{2 3}
2. De folies zijn vervaardigd van grondstof, die volgens de methoden aangegeven in 3.4.2-D.1 is gekwalificeerd.

2 FUNCTIONELE EIGENSCHAPPEN

Hoewel dit hoofdstuk uitsluitend handelt over foliematerialen, dient te worden opgemerkt dat doorvoeren en andere details waarbij de folie wordt gelast op plaat of buis geen andere materialeneisen met zich meebrengt. Om materialen te kunnen verbinden door middel van een las dienen de materialen bij voorkeur identiek te zijn. Een HDPE folie is bijvoorbeeld goed te lassen op een HDPE plaat maar niet op een PVC plaat. Het is daarom niet nodig plaat- en buismateriaal apart mee te nemen in dit hoofdstuk.

2.1 INLEIDING

De belangrijkste eigenschap van een afdichtingsfolie is het voorkomen van gas- of vloeistoftransport. Voor civiele werken en waterbassins betekent dit het verhinderen van watertransport. Voor onderafdichtingen van stort- of opslagplaatsen betekent dit het verhinderen dat in de stort aanwezige, milieuverontreinigende stoffen uittreden en dat het in de stort aanwezige water, het zogenaamde percolatiewater, uittreedt. Voor bovenafdichtingen van stort- of opslagplaatsen betekent dit het verhinderen dat water in de stort treedt en daarmee verhinderen, dat stoffen uitgewassen worden en vervolgens in de omgeving terecht komen, wanneer geen onderafdichting aanwezig is of deze is beschadigd. Daarnaast wordt de hoeveelheid uit de stort af te voeren percolatiewater praktisch tot nul gereduceerd. Tevens dienen bovenafdichtingen te verhinderen dat in de stort aanwezige vluchtige stoffen zoals biogassen in de omgeving komen.^{4 5 6}

Ook wanneer een afdichtingslaag absoluut dicht en zonder poriën is te vervaardigen en te leggen, zal transport van materiaal door de laag plaatsvinden. De drijvende kracht is daarbij een concentratieverschil van de betreffende stof. Het stoftransport vindt plaats vanaf de zijde waar de hoogste concentratie is naar die waar deze het laagst is. In diverse publikaties worden kwantitatieve waarden gegeven van de permeatie van verdunde, in water opgeloste, organische stoffen door afdichtingsfolies.⁷

Bovenstaande betekent in de eerste plaats dat de folie en de verbindingen (*percolaat*)water- en *gasondoorlatend* moeten zijn. De folie zelf moet vrij zijn van poriën en beschadigingen en alle verbindingen moeten dicht zijn. Daarnaast moet de folie zoveel mogelijk *impermeabel* zijn. Omdat een folie nooit volkomen impermeabel zal zijn, is het voor kritische toepassingen als stort- of opslagplaatsen van belang dat de folie een wezenlijk onderdeel vormt van een systeem, dat erop gericht is stoftransport naar de omgeving tot een minimum te beperken. Dit kan o.a. inhouden het toepassen van een combinatie van minerale afdichtingen en kunststof afdichtingen. Verder moet in een stortplaats voldoende drainage plaatsvinden, waardoor het geheel naar behoren functioneert.

Over het permeatiegedrag (stofdoorlatendheid) van folies komt in toenemende mate kennis beschikbaar. Voor tijdelijke toepassingen bieden kunststof folies veelal voldoende barrière. Voor permanente toepassingen bieden de meeste kunststof folies met name voor milieubelastende stoffen zoals organische oplosmiddelen en chloorhoudende organische stoffen onvoldoende barrière. Kunststof folies met een barriërelaag kunnen dan een oplossing bieden.

Het waterdicht blijven van de afdichting hangt af van de levensduur¹ van de folie en de kwaliteit van de daarin aangebrachte verbindingen. De levensduur van de folie is afhankelijk van de eigenschappen van de folie, van het materiaal waarvan de folie is vervaardigd en van de op de folie uitgeoefende krachten in

¹ De levensduur hangt samen met het transport van gas of vloeistof door de folie. De meest waarschijnlijke bezwijkprocessen, die de levensduur van de folietoepassing bepalen, zijn langzame scheurvorming door de folie of de folieverbindingen, onthechting van de verbindingen, desintegratie van de gebruikte (folie)materialen of vloeitotbreuk in de folie.

combinatie met de stoffen, waarmee de folie in aanraking komt.

2.2 EIGENSCHAPPEN

2.2.1 Materiaaldikte

De in de handel zijnde afdichtingsfolies zijn in verschillende dikten leverbaar. Het blijkt niet mogelijk om de vereiste foliedikte op grond van sterkte of weerstand tegen permeatie te berekenen. Het zijn de zettingsverschillen die in de grond optreden, die bepalend zijn voor de belasting op de folie. De optredende rek in het materiaal wordt in het algemeen slechts bepaald door de grond en vrijwel niet door de folielaag. Onafhankelijk van de dikte wordt de folie belast op dezelfde trekkracht. De folie dient echter wel voldoende sterkte te bezitten om abrupte zettingsverschillen te overbruggen.

In de Richtlijn Geomembranen wordt, wanneer de vereiste doorlatendheid voor water nihil is en de zekerheid groot, een minimum effectieve laagdikte van 2,0 mm vereist.⁸

Daarbij hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

- Het verkrijgen van voldoende sterkte om de optredende mechanische krachten van verschillende aard kunnen weerstaan, vooral in de fase waarin de stortplaats wordt aangelegd en ingericht.
- Het verzekerd zijn van een betrouwbare verbindingstechniek.
- Het verzekerd zijn van voldoende weerstand tegen worteldoorgroei van hogere planten.
- Het bieden van voldoende weerstand tegen de invloed van knaagdieren.
- Het beperken van de permeatie van milieubelastende stoffen.
- Het verzekerd zijn van voldoende reststerkte wanneer het foliemateriaal enigszins wordt aangetast door zich in de stortplaats bevindende agressieve stoffen.

N.B. Voor het berekenen van de permeatie van stoffen door versterkte folies is slechts de dikte van de *kunststoflaag* bepalend voor de mate waarin diffusie optreedt.

Voor andere toepassingen dan stortplaatsen en voor niet-permanente stortplaatsen kan afhankelijk van de gewenste doorlatendheid, duurzaamheid en zekerheid van de vereiste dikte worden afgeweken. Daarbij spelen echter de aard van de stoffen die moeten worden opgeslagen en de inrichting van de voorziening een grote rol (zie hoofdstuk 4 deel II).

2.2.2 Mechanisch gedrag

Een uit de afdichtingseis voortvloeiende eis is dat in de folie gedurende de gebruikstijd geen scheuren mogen ontstaan. In veel gevallen wordt een afdichtingsfolie in het vlak van de folie zelf vrijwel niet belast. Wanneer zich echter verschillen in grondzetting voordoen zal de folie plaatselijk worden gerekt en wel sterker naarmate de grondzettingsverschillen per strekkende meter groter zijn. Fabrikanten verstrekken in het algemeen alleen informatie over de uniaxiale breukrek, die vrij snel in een trekbank is vast te stellen. Opgaven van enkele honderden procenten breukrek voor kunststof folies zijn niet ongebruikelijk. In werkelijkheid rekt de folie echter niet in één bepaalde richting zoals bij een trekproef maar gelijktijdig in alle richtingen. Men spreekt dan van een biaxiale rektoestand (figuur 1a en b). Onder een biaxiale rek is de breukrek lager, orde tientallen procenten. Bij langdurige belastingen wordt de breukrek veelal lager dan 10 %.

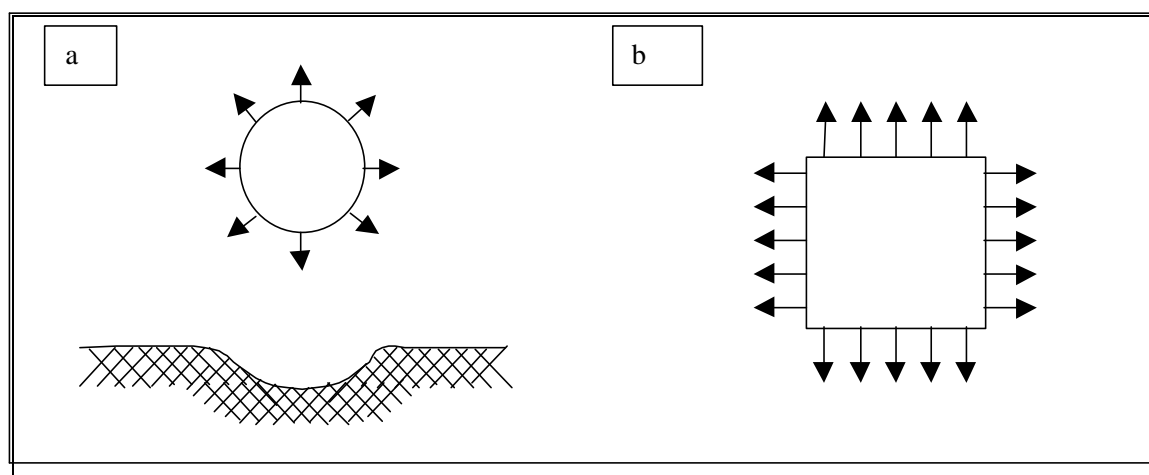


Fig. 1 Illustratie van biaxiale rek.

Over de breukrek bij biaxiale belasting is weinig bekend. In het algemeen zal deze niet hoger zijn dan enkele tientallen procenten. Dit geldt zowel voor onversterkte als voor versterkte kunststoffolies. In het laatste geval is door de aanwezigheid van het versterkingsweefsel de biaxiale breukrek wel vrijwel gelijk aan de uniaxiale breukrek.

Korteduur gegevens over mechanische eigenschappen, volgens genormaliseerde methoden op trekbanken gemeten, zijn in het algemeen ruim voorhanden. Deze eigenschappen zoals treksterkte en breukrek zijn niet geheel zonder betekenis. Ze leren iets over de hanteerbaarheid en geven aan of men te maken heeft met een betrekkelijk flexibel materiaal, zoals LLDPE, of met een stijver materiaal, zoals HDPE. Verder zijn deze waarden goed te gebruiken bij productiecontrole om na te gaan of een geleverd product voldoet aan de specificatie, dit vooral bij samengestelde materialen, zoals PVC-P, LDPE-flex en HDPE-flex. In een enkel geval zoals bij HDPE leert een trek-rek-curve nog iets meer. De grootte van het verschil tussen 1e vloeipunt en 2e vloeipunt (zie figuur 14) geeft een indicatie over de te verwachten gevoeligheid voor spanningscorrosie.

Trek-rek-curven van afdichtingsmaterialen zijn te onderscheiden in de volgende typen (figuur 2).

a. *Semi-kristallijne kunststoffen zoals HDPE (curve a – figuur 2):*

Bij belasting op trek vertoont de curve een vloeigrens. Na het passeren daarvan verstrekt het materiaal, d.w.z. het gaat plaatselijk plotseling over in een aanmerkelijk kleinere doorsnede. Bij verdere rekken breidt dit verstrekte gebied zich uit waarbij hoge rekken kunnen worden bereikt alvorens het materiaal breekt. Bij HDPE begint het verstrekkproces bij ca. 20 % rek, dus bij hoge rek. Het verstrekte materiaal is in vergelijking met het oorspronkelijke volkomen van karakter veranderd. De vloeigrens is dus bepalend voor de praktische bruikbaarheid. De vloeigrens is echter afhankelijk van de snelheid van belasten en ligt bij zeer langzaam belasten aanmerkelijk lager dan bij normale beproevingssnelheden. Als toelaatbare rek wordt daarom ook bij uniaxiale belasting 3-5% aangehouden.

b. *Kunststoffen met een min of meer rubberachtig gedrag (curve b - figuur 2):*

Hier treedt geen vloeï op maar wel een grote rek voordat het materiaal breekt. Opgegeven wordt de uiteindelijke treksterkte, een getal dat echter niet veel zegt over de langeduursterkte van het materiaal. Wel kunnen de treksterkte en de breukrek worden gehanteerd voor productiecontrole.

c. *De trek-rek-curve van versterkte materialen (curve c - figuur 2):*

Deze wordt bepaald door de trekeigenschappen van de versterking. Deze bestaat uit garens die al tijdens de fabricage zijn voorverstrekt. De breukrek is daardoor slechts 10-20%.

LLDPE, geflexibiliseerd HDPE of LDPE, en PVC/CPE nemen een plaats in tussen de curven a en b. Er treedt nog juist geen vloeï op maar iets onder de helft van de treksterkte verandert het materiaal wel van karakter.

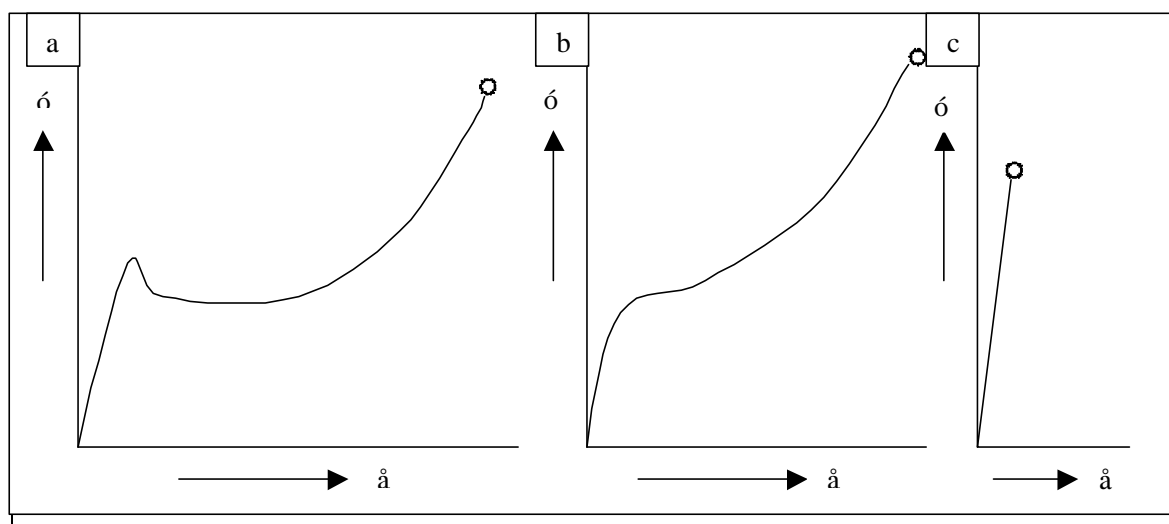


Fig. 2 Voorbeelden van trekkrommen.

Naast de treksterkte en de rek bij breuk neemt de scheursterkte, de kracht c.q. energie nodig om een bestaande scheur uit te breiden, een belangrijke plaats in. Voor de bepaling van deze eigenschap bestaan genormaliseerde methoden. De scheursterkte geeft een indicatie van de gevoeligheid voor beschadiging van de folie tijdens de aanleg. Tevens wordt een indicatie verkregen van de mate waarin een later

ontstane scheur beperkt van omvang blijft.

Belangrijker dan de kennis van het kortstondig mechanisch gedrag is de kennis van het gedrag onder langdurige belasting of rek, een situatie die in de praktijk vaak zal voorkomen. Het kan zijn dat een aldus belaste afdichting op den duur scheurtjes gaat vertonen, die kunnen leiden tot lekkage. De tijd die verstrijkt tot scheurvorming optreedt, zal korter zijn naarmate de aangelegde spanning of rek hoger is. Aanwezigheid van chemische stoffen (soms heel onschuldige zoals bijvoorbeeld synthetische zeep of andere oppervlaktespanning verlagende stoffen bij polyetheen van slechte kwaliteit) kan de tijd tot het ontstaan van scheuren nog aanzienlijk verkorten. In sommige gevallen (stoffen die de kunststof verweken) kan ook verlenging van de tijd tot breuk optreden.

Van HDPE is veel bekend van het bezwijkgedrag bij belastingen onder constante aangelegde spanning. In figuur 3 is voor een standaard kwaliteit HDPE de relatie weergegeven tussen de wandspanning in een buis (ten gevolge van de inwendige druk) en de levensduur van de buis als functie van de temperatuur. Dit diagram is samengesteld uit resultaten van proeven die zijn uitgevoerd bij verhoogde temperatuur en uit voorspelde waarden bij lagere temperaturen. Die waarden bij lagere temperaturen zijn verkregen door extrapolatie van de resultaten van de proeven, die bij verhoogde temperatuur zijn uitgevoerd. Uit dergelijke diagrammen kan men voor de vereiste levensduur bij de gebruikstemperatuur de toegelaten belasting bepalen.

Wanneer het materiaal gevoelig is voor het milieu waarin het zou moeten worden toegepast uit zich dat in een verschuiving van het diagram naar kortere tijden. Het materiaal kan hierop worden onderzocht door het uitvoeren van vergelijkende proeven met constante belasting (inwendige druk in buis, trekspanning aan haltervormige proefstukken) bij bijvoorbeeld 80°C met water en met het milieu in kwestie. Hieruit kan een zogenaamde chemische resistentiefactor worden bepaald, de breuktijd in het milieu gedeeld door de breuktijd in water. De zo bepaalde factor wordt, wanneer deze kleiner dan 1 is, gebruikt om het diagram uit figuur 3 in zijn geheel naar kortere tijden te verschuiven, wat betekent dat bij gelijkblijvende vereiste levensduur de toegelaten belasting lager wordt.

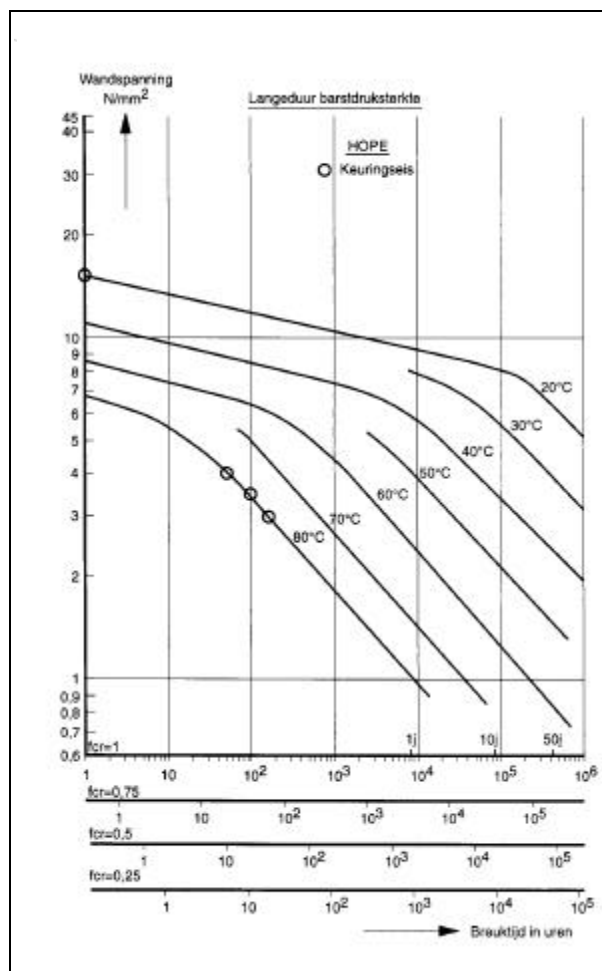


Fig. 3 Langeduursterkte HDPE.

Uit figuur 4 blijkt dat onder continue belasting in inert milieu (a) bij $\sigma = 10$ N/mm² na ca. 8 jaar breuk optreedt, maar dat bij $\sigma = 7$ N/mm² pas na ruim 100 jaar breuk wordt verwacht. In aanwezigheid van zeep (b) kan de breuktijd bij dezelfde spanning terug lopen tot 12 jaar. Deze gecombineerde werking van milieu en spanning die leidt tot versneld falen wordt in het algemeen aangeduid als *milieuspanningsbroosheid* of *spanningscorrosie*. Onderwerpen als langeduursterkte en spanningscorrosie zijn uitgebreid bestudeerd aan HDPE, met name die soorten die worden toegepast

voor gas- en waterleidingbuizen. Van andere materialen dan HDPE is in deze opzichten aanmerkelijk minder bekend.

Ook wanneer niet een spanning maar een rek wordt opgelegd, een situatie die zich in grondfolies meestal zal voordoen, zal zich het verschijnsel tijdsafhankelijke sterkte en spanningscorrosie voordoen. In kwantitatief opzicht is hierover echter veel minder informatie beschikbaar. Zeker is dat deze situatie gunstiger is dan de bovengeschetste. Bij een constant aangelegde deformatie loopt de in de folie optredende materiaalspanning langzaam terug, een verschijnsel dat wordt aangeduid als spanningsrelaxatie. Dit betekent dat ook de breuktijden groter zullen zijn dan bij constant aangelegde spanning. Het materiaal wordt op deze eigenschap beproefd door strookjes materiaal in gebogen toestand aan het milieu bloot te stellen, meestal bij matig verhoogde temperatuur. (zie par. 7.3.9)

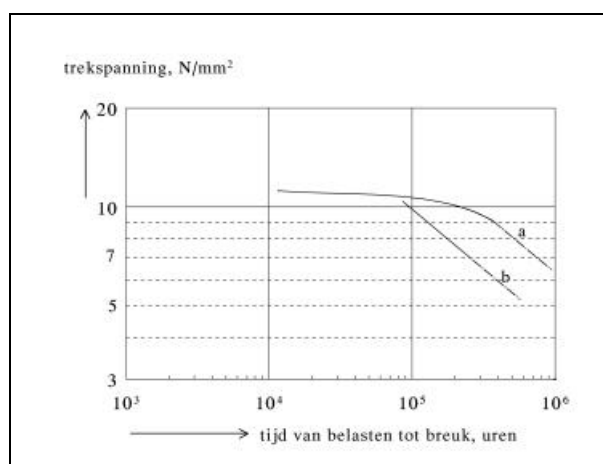


Fig. 4 Spanningscorrosie.

Wanneer een folie een spanning wordt opgelegd zal het materiaal alvorens te breken kruip vertonen. De deformatie ten gevolge van de opgelegde spanning neemt toe in de tijd. In figuur 5 zijn voor een standaard kwaliteit HDPE de zgn. isochrone spanning-rek lijnen gegeven voor verschillende tijden. Uit een dergelijk isochroon diagram kan een indicatie worden verkregen van het relaxatiegedrag van een materiaal door hieruit bij een bepaalde rek de spanning bij de verschillende tijden af te lezen.

Daadwerkelijke meetgegevens over biaxiale belasting ontbreken echter, zodat voor de toelaatbare biaxiale rekken $\bar{\epsilon}^*$ op langere termijn niet meer dan een globale richtlijn kan worden gegeven, gebaseerd op algemene principes uit de polymeerfysica en praktijkervaring.

Als te hanteren maxima zijn aan te bevelen:

Versterkte folies	3,5%
HDPE	3-5%
HDPE-flex	5 %
LLDPE	6 %
LDPE-flex	6 %
VLDPE	10 %
PVC-P	10 %

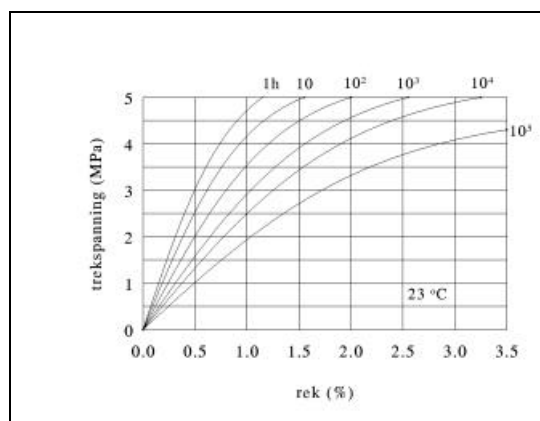


Fig.5 Isochrone spanningslijnen van HDPE.

Al eerder is opgemerkt dat *verschillen* in grondzetting bepalend zijn voor de in de afdichtingslaag optredende rek. De spanningstoestand in de laag wordt dus bepaald door de opgelegde deformaties. De kunststoffolies zelf zijn niet in staat rechtstreeks belasting op te nemen, tenzij ze zeer zwaar zijn versterkt.

Het is dus van groot belang om vast te stellen, dat de grond waarop de folie wordt aangebracht zodanig stabiel is, dat aan bovenstaande grenswaarden kan worden voldaan. Daarom zal vooraf grondmechanisch onderzoek noodzakelijk zijn.

2.2.3 Bestandheid tegen chemicaliën

In tegenstelling tot de beperkte hoeveelheid informatie over permeatie zijn betrekkelijk veel gegevens beschikbaar over de bestandheid van verschillende materialen tegen chemicaliën. Chemische stoffen kunnen op verschillende manieren op kunststoffen inwerken. Het kan zijn dat het uiterlijk wordt aangetast zodat vlekken en verkleuringen optreden, hetgeen echter niet verontrustend hoeft te zijn. Het kan ook gebeuren dat het oppervlak in meerdere of mindere mate ruw wordt, dat het materiaal zwelt of dat de korteduur mechanische eigenschappen zoals breukrek, treksterkte, elasticiteitsmodulus en trekslagsterkte sterk worden beïnvloed. Daarnaast kan ook spanningscorrosie optreden (zie 2.2.2). Veranderingen in mechanische eigenschappen en in uiterlijk hoeven niet samen te gaan. Het is mogelijk dat het materiaal volkomen gaaf blijft en toch verbrost maar ook het tegenovergestelde komt voor. Figuur 6 geeft een indruk van de mogelijke veranderingen van treksterkte of vloeigrens die kunnen optreden bij inwerking van chemicaliën op een kunststof.

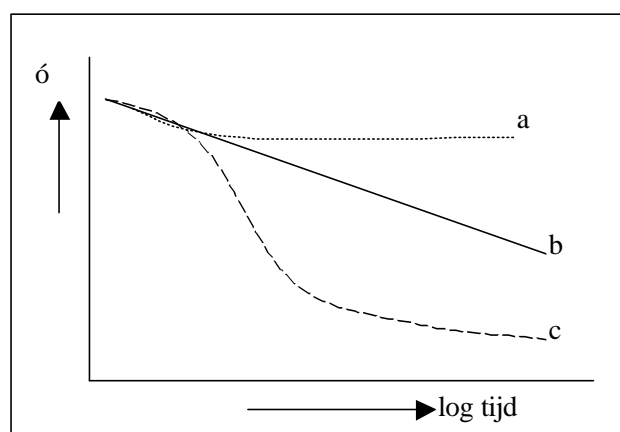


Fig. 6. Verandering van treksterkte onder invloed van chemische stoffen.

achteruitgang in sterkte volkomen acceptabel is, maar het proces kan ook snel verlopen. Daarnaast kan het wegens de veranderende chemische structuur van de kunststof voorkomen dat de sterkte eerst toeneemt. Volgens de Richtlijn Geomembranen is alleen de combinatie materiaal en chemische stof acceptabel die in de tijd curve a vertoont.⁹

In het algemeen is de bestandheid tegen anorganische chemicaliën vrij goed. Alleen in extreme gevallen zoals bij geconcentreerde zuren, bij alkaliën of bij oxidatiemiddelen zouden problemen kunnen optreden. Oxidatiemiddelen zijn stoffen, die onder bepaalde omstandigheden zeer gemakkelijk actieve zuurstof kunnen afsplitsen (of een daarmee overeenkomende chemische werking kunnen hebben), waardoor de chemische structuur van kunststoffen snel wordt aangetast. Voorbeelden hiervan zijn (geconcentreerd) chroomzuur en salpeterzuur. Dit soort stoffen zal alleen voorkomen in bepaalde opslagplaatsen voor industrieel afval. In de meeste andere gevallen kan men aannemen dat de oxidatieve werking van stoffen volkomen is verdwenen voordat de afdichtingsfolie wordt bereikt.

Veel belangrijker is de werking van organische verbindingen zoals oplosmiddelen. Deze kunnen de afdichtingsfolie doen zwellen. Met name moet worden gelet op alifatische en aromatische koolwaterstoffen. Beide komen voor in benzine. Aromaten zijn o.a. benzeen, toluen en xyleen. Tevens moet gelet worden op de bestandheid tegen voor het milieu schadelijke chloorhoudende verbindingen zoals de oplosmiddelen trichlooretheen, tetrachloorkoolstof en ook vele insecticiden. In tabellen van de

Curve a is het gevolg van absorptie van een stof waarbij na verloop van tijd de kunststof verzadigd is. De sterkte daalt dan. Bij geringe absorptie blijft deze daling beperkt en heeft dit geen erg schadelijke gevolgen.

Curve c geeft het gevolg weer van een chemische reactie, die binnen betrekkelijk korte tijd tot aanzienlijke verbrossing leidt. Dit verloop is kenmerkend voor de inwerking van sterke oxidatiemiddelen, die de kunststof wezenlijk aantasten.

Curve b geeft het beeld van een geleidelijke achteruitgang in sterkte als gevolg van langzaam voortschrijdende chemische afbraak. De helling van een dergelijke curve kan zeer verschillend zijn. Het zou kunnen dat zelfs na lange tijd de

bestandheid tegen chemicaliën worden voor het vaststellen of een bepaalde kunststof goed, matig of slecht bestand is vaak verschillende criteria gehanteerd. Toch geven dergelijke tabellen wel een globaal beeld (zie tabel 4.2), hoewel in het algemeen onvoldoende aandacht wordt besteed aan de invloed van de concentratie. In veel gevallen is de invloed van wateroplosbare stoffen in lage concentraties aanmerkelijk geringer dan die van geconcentreerde. Echter, de invloed van chemicaliën in verzadigde oplossingen kan op de langeduur even groot zijn als die van de onverdunde stoffen.

2.2.4 Veroudering

Aspecten van duurzaamheid zijn al eerder behandeld bij de langeduur sterkte, het spanningscorrosiegedrag en de bestandheid tegen chemicaliën. In deze paragraaf wordt onder duurzaamheid verstaan de bestandheid van de materialen tegen de volgende drie aspecten:

1. Intrinsieke veroudering die optreedt zonder andere externe invloeden dan de temperatuur.
2. De bestandheid tegen zuurstof, vaak aangeduid als thermische stabiliteit.
3. De bestandheid tegen de invloed van licht, i.h.b. aan de UV-zijde van het spectrum.

Intrinsieke veroudering en daarmee verband houdende verbrossing is alleen van belang bij weekgemaakt PVC. Deze ontstaat deels door weekmakerverlies, deels door structuurveranderingen. Om deze reden moet ook een eis worden gesteld aan optredend weekmakerverlies c.q. aan de soort weekmaker (polymere weekmakers).

Thermische stabiliteit is voor polyolefinen (PE en PP) de langzame afbraak van polymeerketens onder invloed van zuurstof. Temperatuurverhoging versnelt het proces, daarom is de thermische stabiliteit in eerste instantie belangrijk bij het thermisch lassen van het materiaal en bij toepassingen bij verhoogde temperatuur. Daarnaast kan oxidatieve afbraak op de zeer lange termijn ook bij normale temperaturen optreden. Aan de materialen worden, om de vereiste weerstand tegen oxidatieve afbraak te bereiken, bepaalde stoffen toegevoegd, zogenaamde stabilisatoren. Een levensduur van tenminste 50 jaar kan zonder meer worden bereikt. De meeste materialen die voldoen aan de in hoofdstuk 3 te stellen eisen zullen waarschijnlijk een aanmerkelijk langere levensduur bezitten.

Thermische stabiliteit is voor PVC-P de (langzame) afsplitsing van zoutzuur, waarbij het verhogen van de temperatuur het proces versnelt. Het proces is autokatalytisch, het afgesplitste zoutzuur versnelt het proces. Er worden dan ook stabilisatoren toegevoegd om het afgesplitste zoutzuur te binden. Op de plaats in de keten waar het zoutzuur wordt afgesplitst ontstaat een dubbele band, die zeer gevoelig voor verdere afbraak is.

Om voldoende bestandheid tegen UV-licht te bereiken worden aan het materiaal UV-absorbers en stabilisatoren toegevoegd. De te bereiken weerstand hangt van de hoeveelheid toegevoegde stabilisatoren af. Daarnaast heeft de fabricagekwaliteit een duidelijke invloed. Een normale UV-bestandheid is die van een landbouwfolie, overeenkomend met één jaar zonlicht in een standaard buitenexpositieproef (onder 45° op het zuiden). Onder zeer goede UV-bestandheid is te verstaan een bestandheid tegen minimaal 10 jaar buitenexpositie onder dezelfde omstandigheden. Het criterium daarbij is voor de meeste materialen een afname van de rek bij breuk van hoogstens 25 % van de initiële waarde voor de meeste materialen. Voor HDPE geldt dat van het materiaal de trekslagsterkte niet meer dan 30 % mag afnemen. Een duurzaamheid van tenminste 10 jaar bij gebruik in de open lucht kan tegenwoordig zonder meer bereikt worden.

De mate waarin gestabiliseerd wordt kan worden aangepast aan de toepassing, de gewenste duurzaamheid etc.

2.2.5 Bestandheid tegen aantasting van biologische aard

Bij aantasting van biologische aard kan onderscheid worden gemaakt in:

- microbiologische aantasting, hierbij wordt de kunststof zelf of een toevoegstof (weekmaker) door bacteriën of schimmels afgebroken. Dit kan een probleem zijn bij PVC-P, bij de andere materialen zeer waarschijnlijk niet. Toeslagstoffen kunnen de vereiste bestandheid geven.
- macrobiologische aantasting, hierbij kan de kunststof worden beschadigd door vraat van knaagdieren, pikken van vogels en doordringen van scherpe groeipunten en wortelpunten van hogere planten. Folies van tenminste 2 mm dikte worden geacht in dit opzicht voldoende resistent te zijn. (zie par.2.2.1.)

2.2.6 Verbindingstechniek

Geomembranen worden in het algemeen aangebracht vanaf rollen en moeten dus bij de aanleg onderling worden verbonden. Alle kunststof foliematerialen die tot nu toe voor toepassing als geomembraan in aanmerking komen kunnen thermisch worden gelast. Hierbij worden de oppervlakken van te verbinden folies verwarmd en op elkaar gedrukt. De molekuulketens van de kunststof zijn bij de lastemperatuur zeer beweeglijk en bij het lassen vindt daarom een verstrengeling van ketens uit de te verbinden delen plaats. Deze wijze van verbinden werkt snel, waardoor continue processen mogelijk zijn.

Het opwarmen van het materiaal kan op verschillende wijze geschieden:

- Door middel van hete lucht
 - zonder toegevoegd materiaal.
 - met toegevoegd materiaal, zogenaamde extrusielassen.
- Door het materiaal over een verwarmde wig te voeren, het zogenaamde "Heizkeil" proces. (heetelement lassen)¹

Daarnaast kunnen bepaalde materialen, waaronder PVC-P, ook worden opgewarmd door middel van hoogfrequentlassen.

De lasapparatuur is meestal semi-automatisch, de luchttemperatuur, de wigtemperatuur, de lasdruk, de temperatuur van het extrudaat en de snelheid van voortbewegen kunnen voorzover van toepassing automatisch op de ingestelde waarde worden gehouden.

2.3 **MATERIALEN**

Vele materialen kunnen worden toegepast als geomembranen, de materiaalkeuze wordt volledig bepaald door de toepassing in kwestie en de gewenste zekerheid over het juist functioneren van de afscheiding. Uiteraard hebben ook economische factoren een duidelijke invloed.

Geomembranen vervaardigd van kunststof worden op dit moment in Nederland min of meer algemeen ter bescherming van het milieu toegepast.

¹ Dit geldt voor fabrieksmatig vervaardigde verbindingen, bij het vervaardigen van verbindingen in het veld wordt de wig over de te verbinden vlakken gevoerd.

2.3.1 Kunststoffen

Kunststoffen zijn polymere materialen, verkregen door polymerisatie van aardolieproducten of afgeleiden daarvan. De structuur van het materiaal bestaat uit lange ketens, waartussen crosslinks, dwarsverbindingen, bestaan. Men onderscheidt bij de kunststof twee typen, de thermoplastische en de thermohardende kunststoffen.

De cohesie wordt bij de thermoplastische kunststoffen bepaald door fysische wisselwerking en fysische crosslinks. De fysische wisselwerking en fysische crosslinks kunnen bij hogere mechanische belasting verbroken en gedeeltelijk weer opnieuw gevormd worden, waardoor bij belasten permanente deformatie kan ontstaan. Bij verhoogde temperatuur, met name boven de smeltemperatuur, worden constant fysische crosslinks verbroken en gevormd. De thermoplastische kunststoffen kunnen daarom thermisch worden gevormd en gelast. Tijdens het lassen dienen fysische crosslinks tussen de twee te lassen folies of tussen de folies en het toegevoegde extrudaat te worden gevormd. Bij afkoelen worden de bij verhoogde temperatuur gevormde fysische crosslinks ingevroren en verkrijgt de thermoplast (las) zijn sterkte.

Bij de thermohardende kunststoffen zijn de dwarsverbindingen chemische verbindingen, deze banden zijn permanent. De vorm van het produkt wordt vastgelegd tijdens het vormen van deze banden. Aan het feit dat dit proces meestal bij verhoogde temperatuur plaats vindt ontleen deze kunststoffen hun naam. Door latere temperatuurverhogingen kan, in tegenstelling tot de thermoplasten, de vorm niet meer gewijzigd worden. De materialen kunnen niet gelast worden, lijmen is wel mogelijk.

De eigenschappen van de diverse materialen hangen af van de atomen in de ketens en de opbouw van de ketens (vertakkingen e.d.). De thermoplastische materialen kunnen dus thermisch worden gelast met continu werkende processen. Enkele materialen kunnen ook verlijmd worden. Tot nu toe worden voor de vervaardiging van geomembranen in hoofdzaak thermoplasten gebruikt.

Geomembranen worden in het algemeen vervaardigd door extrusie. Dit is een proces, waarbij gesmolten kunststof door een spleet wordt geperst.¹⁰

Er kan sprake zijn van vlakextrusie, de spleet is dan lijnvormig. Nadat de kunststofsmelt de spleet heeft verlaten wordt het materiaal door middel van walsrollen op de uiteindelijke dikte gebracht en afgekoeld. Vervolgens wordt de folie opgerold. Kenmerkend voor het proces is dat folie van goede kwaliteit kan worden verkregen met een mooi oppervlak en met een geringe spreiding in de dikte.

Naast het vlakextrusie proces wordt ook blaasextrusie toegepast. Hierbij wordt de kunststof door een ringvormige spleet verticaal naar boven geperst en vervolgens omhooggetrokken om te worden gekoeld. Bij dit proces wordt de folie enigszins opgerekt en door middel van inwendige luchtdruk in vorm gehouden. Wanneer de folie voldoende is gekoeld, boven in de koeltoren aangekomen, wordt de folie tussen twee rollen doorgevoerd, zodat de druk binnen de folie gehandhaafd blijft. Achter de rollen wordt de folieslurf opengesneden en de folie opengevouwen en tenslotte opgerold. Met het proces kan folie van goede kwaliteit worden verkregen. De spreiding in de dikte is door de aard van het proces groter dan bij vlakextrusie. Ook het oppervlak kan minder fraai zijn. Van de vouwen in het materiaal, die bij dit proces ontstaan, is nooit aangetoond, dat het materiaal daar ter plaatse onder de meest extreme *praktijkomstandigheden* zwakker was. Daar deze vouwen in de lengterichting van de foliebaan lopen vormen zij ook bijna nooit een probleem bij het lassen.

Bij beide processen worden de kunststof ketens in mindere of meerdere mate georiënteerd, waardoor de geomembranen anisotroop (verschillende eigenschappen in verschillende richtingen) kunnen zijn.

Voor weegemaakt PVC wordt ook het kalender proces toegepast. Hierbij wordt een PVC pasta tussen

verwarmde rollen uitgerold tot folie van de vereiste dikte. Kenmerken van het proces zijn bijzonder goede dikte toleranties, vooral bij dunne folies. Het proces kan worden toegepast voor het vervaardigen van folie tot circa 1,0 mm dikte. Grotere dikten kunnen worden bereikt door twee of meer folies naderhand op elkaar te hechten, een vorm van lamineren.

Polyetheen (PE).

Polyetheen is een taai, tamelijk flexibel materiaal. Van dit materiaal worden de normale folies vervaardigd in dikten, die variëren tussen 0,5 en 4,0 mm. Ook bestaan er gewapende en versterkte folies, opgebouwd uit weefsel bekleed met PE.

De mechanische eigenschappen van het PE-materiaal worden slechts weinig beïnvloed door lage temperaturen zoals die in Nederland optreden. De weerstand tegen doorpensen is uiteraard afhankelijk van de vervaardigingswijze en de te kiezen foliedikte, maar is redelijk te noemen. Om de van nature slechte bestandheid van PE tegen UV-licht te verbeteren is toevoeging van UV-stabilisator noodzakelijk wanneer het membraan min of meer langdurig aan zonlicht wordt blootgesteld. Meestal wordt hiervoor "carbon black" (roet) gebruikt.

Al naar gelang het vervaardigingsproces van de PE grondstof kan zeer flexibel tot vrij stug polyetheen worden gemaakt. Er wordt dan ook onderscheid gemaakt in lage dichtheid- (LDPE), zeer lage dichtheid- (VLDPE), lineair lage dichtheid- (LLDPE), mediumdichtheid- (MDPE) en hoge dichtheid polyetheen (HDPE) ¹.

HDPE in zijn oorspronkelijke vorm bestaat uit lange rechte ketens met een gering aantal korte zijketens. De latere soorten HDPE en MDPE vertonen eveneens rechte ketens, echter met regelmatig verdeelde zijketens van beperkte lengte. Het LLDPE en VLDPE bestaan net als HDPE en MDPE uit rechte ketens maar nu zijn de zijketens veelal langer. Het normale LDPE heeft onregelmatig vertakte ketens (zie figuur 7).

Naarmate het aantal en de lengte van de zijketens toenemen, neemt de mate waarin het PE materiaal kan kristalliseren af.

¹ Aanvankelijk werden PE materialen op grond van hun dichtheid gerangschikt. HDPE was dan een PE materiaal met een dichtheid hoger dan 0,95 g/cc en LDPE een materiaal met een dichtheid lager dan 0,93 g/cc. De dichtheid van MDPE bevond zich tussen die van HDPE en LDPE. Met de komst van LLDPE en VLDPE materialen, die een dichtheid hebben van respectievelijk 0,91-0,93 en 0,90-0,92 g/cc, maar chemisch gezien sterk verschillend van LDPE was de codering op dichtheid niet meer eenduidig. Momenteel vindt de rangschikking meer vanuit het gebruikte syntheseproces plaats en wordt een MDPE materiaal met een dichtheid tot ca. 0,93 g/cc nog steeds als een HDPE aangeduid.

Een andere naam, die in de foliewereld werd geïntroduceerd, is VFPE (zeer flexibel polyetheen). Het betreft hier veelal LLDPE of VLDPE materialen. Deze naam zegt niets over de dichtheid en over het syntheseproces en dient daarom te worden vermeden.

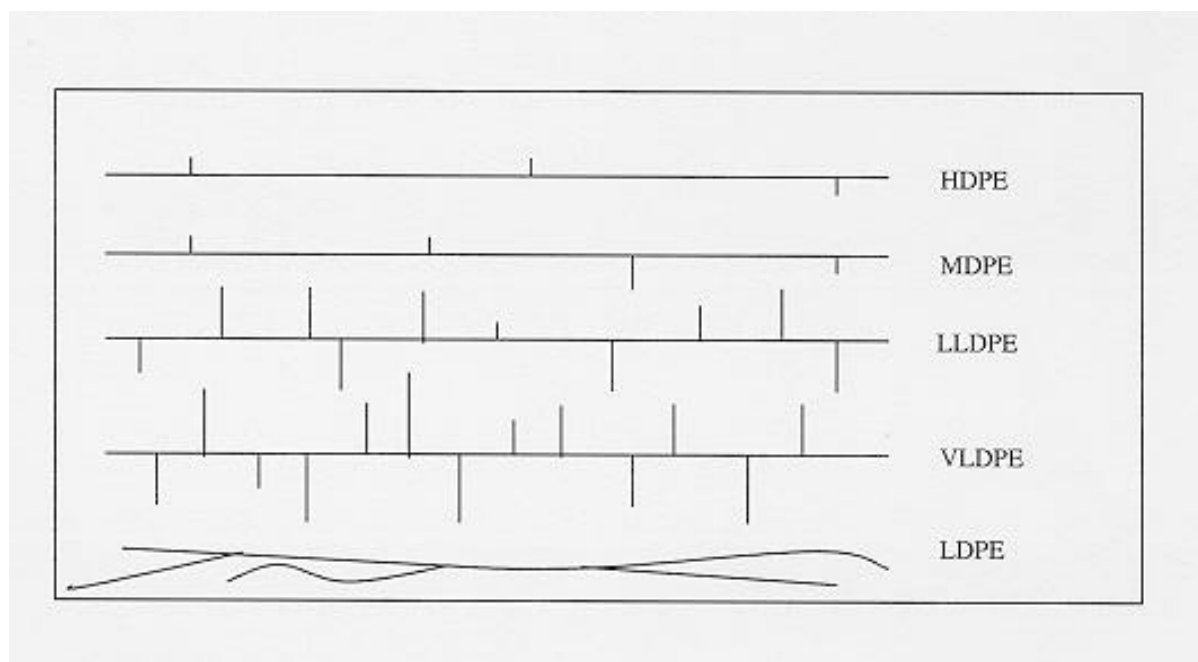


Fig. 7 Schematische illustratie van PE typen {HDPE: per 1000 ketenbindingen 5 zijketens; LLDPE: per 1000 ketenbindingen 100 C₄ tot C₈ zijketens; LDPE: per 1000 ketenbindingen 8 tot 40 lange vertakkingen met hierop weer vertakkingen¹}.

HDPE

HDPE (hoge dichtheid), het materiaal met de hoogste kristalliniteit, de meest compacte structuur, is het minst soepel. HDPE heeft van de typen PE de beste weerstand tegen zwellings door aromatische koolwaterstoffen, gechlloreerde koolwaterstoffen en oplosmiddelen. Bovendien vertoont HDPE ook de geringste permeatie in contact met deze stoffen. Daarentegen was HDPE in zijn oorspronkelijke vorm vrij gevoelig voor milieuspanningsbrosheid. De tegenwoordige HD materialen zijn enigszins gemodificeerd, waardoor zij meer het karakter bezitten van een MDPE². Zij zijn goed resistent tegen milieuspanningsbrosheid zonder daarbij veel aan chemische resistentie in te moeten boeten. De combinatie van chemicaliënbestandheid en beperkte doorlatendheid gecombineerd met voldoende weerstand tegen milieuspanningsbrosheid, maakt dit type PE goed toepasbaar als afdichtingsfolie in algemene stortplaatsen, waarin het milieu niet altijd voorspelbaar is, en als afdichtingsfolie in contact met aromatische koolwaterstoffen, gechlloreerde koolwaterstoffen en andere oplosmiddelen wanneer deze in beperkte concentraties voorkomen. In het materiaal kunnen, wanneer hieraan de nodige zorg wordt besteed, goede verbindingen worden gemaakt door thermisch lassen.

MDPE

MDPE (mediumdichtheid) is in het verleden ontstaan door het aanmerkelijk modificeren van HDPE door copolymerisatie met andere olefinen. Afhankelijk van de aard van de modificatie ontstaan materialen met verschillende eigenschappen. Naarmate het materiaal meer een MD karakter heeft, nemen de vloeigrens en de weerstand tegen zwellings door genoemde chemicaliën af, maar de weerstand tegen milieuspanningsbrosheid toe. Ook de doorlatendheid neemt toe. De lasbaarheid van de materialen wordt beter, waardoor het lasproces wat gemakkelijker verloopt. PE materialen met een vloeigrens van tenminste 16 N/mm² worden doorgaans gerekend tot de HD materialen.

¹ Saechtling, "Kunststoff Taschenbuch", Hanser Verlag, München.

² Hierdoor neemt het onderscheid tussen HDPE en MDPE af.

HDPE-flex

HDPE materiaal kan worden geflexibiliseerd door copolymerisatie en/of bijmengen van andere polymeren, waaronder EVA (Ethyl Vinyl Acetaat) en ECB (Etheen Copolymeer Bitumen).

LDPE en LDPE-flex

LDPE kan weliswaar goed resistent zijn tegen milieuspanningsbroosheid, maar is als zodanig minder geschikt voor toepassing in geomembranen. Het wordt daarom geflexibiliseerd door fysisch bijmengen van andere polymeren, bijvoorbeeld EVA of ECB (zie HDPE-flex), of door copolymerisatie met bijvoorbeeld EVA. Het wordt daardoor zeer flexibel maar is dan wel aanmerkelijk minder resistent tegen zwelling door eerder genoemde organische verbindingen. Bovendien is het materiaal aanmerkelijk meer doorlatend hiervoor. Het materiaal is thermisch te lassen hoewel het toe te passen lasvenster kleiner wordt. Dit geldt met name voor flex-materiaal gebaseerd op ECB. De geflexibiliseerde kunnen eventueel ook met hoogfrequentlassen worden verbonden. Hoogfrequentlassen wordt bevorderd door de aanwezigheid van dipolen in de flexibilisator. Door het kiezen van de juiste verhouding PE en flexibiliserend polymeer kan aan de folie de voor een bepaalde toepassing gewenste combinatie van eigenschappen worden gegeven.

LLDPE en VLDPE

LLDPE en VLDPE zijn flexibel en hebben een goede weerstand tegen milieuspanningsbroosheid. De doorlatendheid voor organische verbindingen is echter toch nog aanzienlijk. Ook treedt in contact met organische verbindingen meer zwelling op dan bij MD- en HDPE. Dit materiaal is ook goed te lassen. Het VLDPE materiaal wordt slechts in beperkte hoeveelheid geproduceerd, is nauwelijks nog kristallijn en laat zich moeilijker verwerken tot dikke folie dan de andere PE materialen.

LLDPE, VLDPE en LDPE materiaal zijn in verband met het bovenstaande minder geschikt voor onderafdichtingen van stortplaatsen van huisvuil of algemeen industrieel afval. Deze materialen kunnen daarvoor uiteraard wel worden toegepast in contact met milieu, waarvan door proeven is aangetoond dat het materiaal daartegen resistent is. Dit zijn naar verwachting lagere organische zuren en hun zouten, alcoholen en anorganische niet-oxyderende verbindingen (basen, zuren en zouten).

LLD-, VLD- en LDPE kunnen worden toegepast als boven- of tussenafdichting voor stortplaatsen van huisvuil of daarmee gelijk te stellen industrieel afval indien zij aan de gestelde eisen voldoen. Voor bovenafdichtingen voor stortplaatsen van algemeen industrieel afval of van monodeponieën hangt de toepasbaarheid van deze materialen af van hun weerstand tegen het gestorte materiaal en de te verwachten zettingen.

Weekgemaakt PVC (PVC-P)

Polyvinylchloride, polymeer van vinylchloride, is een harde kunststof. Deze is soepel te maken door mengen met één of meerdere weekmakers. Weekmakers zijn laag- of hoogmoleculaire organische verbindingen, waarvan 25 tot 50 % wordt toegevoegd. Van dit materiaal worden onversterkte en met kunstvezelversterkte folies vervaardigd in diverse dikten, variërend van 0,5 tot circa 2 mm. De eigenschappen van weekgemaakt PVC hangen volkomen af van de hoeveelheid weekmaker en de aard ervan. Met name de koudebroosheid en de chemische bestandheid kunnen sterk uiteenlopen. Ook kunnen slechts enkele typen in contact met drinkwater worden toegepast. Om het materiaal voldoende stabiliteit te geven tegen degradatie tijdens de verwerking en in het gebruik (zonlicht), worden ook één of meer stabilisatoren toegevoegd. Daarnaast kunnen nog andere stoffen aan het materiaal zijn toegevoegd. Het is mogelijk dat tijdens het gebruik de weekmaker geleidelijk uit het materiaal verdwijnt waardoor de stugheid en de broosheid van de folie toenemen. Weekmakers logen soms gedeeltelijk uit in water. Afhankelijk van het gebruikte type weekmaker zou dit schadelijk voor het milieu kunnen zijn. Verder is het mogelijk dat weekgemaakt PVC slecht bestand is tegen bodembacteriën en schimmels, die de

weekmaker zouden kunnen aantasten. Kwaliteitscontroleproeven zullen mede deze aspecten moeten omvatten.

De mechanische eigenschappen van PVC-P zijn vrij goed. De soepelheid is, mits de juiste weekmaker is gebruikt, niet sterk afhankelijk van de temperatuur. Maar ook de zogenaamde oliebestendige typen PVC-P zijn toch nog gevoelig voor aromatische koolwaterstoffen. In contact met enkele typen gechloreerde koolwaterstoffen en met bepaalde ketonen kan totale desintegratie van het materiaal optreden. De permeatie van organische verbindingen door PVC-P is aanmerkelijk hoger dan door HDPE. De permeatie van anorganische verbindingen is naar verwachting uiterst gering. Een aantal PVC-P materialen wordt verwacht resistent te zijn tegen zouten van lagere organische zuren en tegen anorganische verbindingen, mits niet zeer sterk zuur, zeer sterk basisch of oxyderend. De eigenschappen van de diverse typen PVC-P folie zullen uit onderzoek moeten blijken.

In het materiaal kunnen verbindingen worden gemaakt door thermisch lassen en door hoogfrequent lassen. Daarnaast kan in geval van detailwerk, aansluitingen e.d. ook gebruik worden gemaakt van oplosmiddellassen (met THF) of van lijmen.

PVC met gechloreerd polyetheen (PE-C)

Dit materiaal lijkt uiterlijk op weekgemaakt PVC. Het is een mengsel van CPE en PVC. Het materiaal wordt zowel onversterkt als met polyester versterkt toegepast. Een voordeel van CPE is, dat geen weekmakermigratie kan optreden waardoor het materiaal in de loop der tijd niet daardoor kan verbrossen. Het materiaal is soepel. De soepelheid wordt onder Nederlandse klimatologische omstandigheden niet sterk beïnvloed door lage temperatuur. De weerstand tegen atmosferische omstandigheden is goed. De bestandheid tegen anorganische verbindingen is goed. De weerstand tegen organische verbindingen, speciaal de aromatische koolwaterstoffen en de gechloreerde koolwaterstoffen, is in het algemeen niet groot. Het materiaal kan thermisch of hoogfrequent worden gelast. Evenals PVC-P kan bij het uitvoeren van detailwerk ook gebruik worden gemaakt van lijmen. Ondanks de genoemde voordelen wordt het in Nederland weinig toegepast.

PP

Standaard PP (polypropreen) materiaal is niet geschikt als geomembraan. door copolymerisatie van PP met PE kan evenwel een materiaal worden verkregen dat voldoende flexibel is om geomembranen van te vervaardigen. Een voordeel, dat deze materialen hebben boven PE, is een beter temperatuurgedrag (o.a. een lagere thermische uitzettingscoëfficiënt).

2.3.2 Rubbers

Rubbers zijn net als kunststoffen polymere materialen. In tegenstelling tot de eerder behandelde kunststoffen zijn rubbers elastomeren, d.w.z. zij kunnen sterk vervormd worden, zonder dat permanente deformatie optreedt. Zij ontleen deze eigenschap aan hun structuur, lange ketens waartussen zogenaamde chemische crosslinks zijn aangebracht. Door het aanbrengen van deze crosslinks wordt de in essentie plastische ruwe rubber veranderd in een elastisch, vormstabiel materiaal, dat in het algemeen zeer soepel is. Dit proces, dat volgt na het vormgevingsproces, noemt men bij deze materialen vulkaniseren, omdat dit in het algemeen met zwavel gebeurt bij verhoogde temperatuur. De detaileigenschappen van de diverse rubbers hangen af van de samenstelling van het rubbermengsel dat gevulkaniseerd wordt. De ruwe rubber wordt hetzij als natuurlijk product gewonnen uit het sap van de rubberboom of door polymerisatie van aardolieproducten vervaardigd. Voor nadere details wordt verwezen naar de literatuur.¹¹

De rubbers kunnen door lijmen worden verbonden, waarbij ook sprake kan zijn van een vulkani-

satieproces. Deze verbindingsmethoden vragen echter een zekere tijd, waardoor zij zich slecht lenen voor het vervaardigen van lange lassen met een semi-continue proces. Recent is voor bepaalde rubbers een methode ontwikkeld, waarbij de banen zijn voorzien van randstroken bekleed met ongevulcaniseerd materiaal, die het mogelijk maken dat materiaal op dezelfde wijze te lassen als polyetheen.

Het verschil tussen elastomeren, die in wezen ook thermohardende materialen zijn, en de normale thermohardende materialen is gelegen in de lengte van de ketens tussen de crosslinks.

Hoewel de materialen zeer flexibel zijn, zijn de geringe scheursterkte en daardoor de gemakkelijke beschadigbaarheid van het materiaal, de vaak geringe weerstand tegen chemicaliën en de eerder genoemde verbindingstechnieken, die weinig geschikt zijn voor het maken van lange verbindingen, de oorzaak dat rubbers als geomembranen ter bescherming van het milieu nauwelijks of niet worden toegepast. Voor een algemene beschrijving van de verschillende typen rubbers wordt verwezen naar de literatuur.¹² Hier volgt een beschrijving van twee typen op basis van EPDM

EPDM

Membranen van gevulcaniseerde EPDM (etheenpropeenterpolymeer) kunnen onder andere worden toegepast voor de opslag en kering van water, de opslag en scheiding van waterige media met anorganische bestanddelen, ter bescherming van de bodem en het grondwater tegen calamiteiten en voor mestopslagsystemen (BRL-K559/02).

Een EPDM rubber membraan wordt uit een mengsel van etheenpropeenterpolymeer, roet en additieven vervaardigd door menging, walsen en vulcaniseren.

Voor het maken van verbindingen kan gebruik worden gemaakt van een ongevulcaniseerde EPDM strip, die ter plaatse onder druk en bij verhoogde temperatuur wordt gevulcaniseerd.

PP-EPDM

Een foliemateriaal, dat gerelateerd is aan EPDM, is PP-EPDM. Het betreft een blend van PP (polypropeen) en EPDM. Dit type materiaal wordt een thermoplastisch elastomeer (TPE) genoemd omdat enerzijds de verwerking van dit type materiaal analoog aan die van een thermoplastische kunststof is en anderzijds de mechanische eigenschappen meer gelijkenis vertonen met een elastomeer materiaal (rubber).

Folies van het PP-EPDM type materiaal zijn lasbaar (hete lucht lassen). De eigenschappen van dit materiaal zijn sterk afhankelijk van de verhouding PP en EPDM en van de verwerking.

2.3.3 Barrièrelagen

Het aanbrengen van een barrièrelaag (aluminium, PVDC (polyvinylideenchloride), PVDF (polyvinylideenfluoride) in bijvoorbeeld een PE folie door drielaags-coextrusie behoort tot de technische mogelijkheden. Het voordeel van deze folies boven de gebruikelijke eenlaagsfolies ligt in het permeatiegedrag. De barrièrelaag zal het transport van verontreinigingen naar de bodem sterk doen verminderen. Momenteel worden de permeatie-eisen gerealiseerd door een gecombineerde isolatielagen en drainage.

Het gebruik van barrièrefolies, waar hoge eisen worden gesteld aan de permeatie van verontreinigingen naar de omgeving, lijkt evenwel in de nabije toekomst haalbaar.

3 **FUNCTIONELE EISEN**

3.1 INLEIDING

In alle genoemde toepassingen is de functie van het geomembraan het vormen van een afscheiding tussen gestort of opgeslagen materiaal en grondwater of omgeving of het vormen van een waterdichte en gasdichte bovenlaag. Daarom is de meest overheersende eis, dat het membraan en de daarin aangebrachte verbindingen waterdicht zijn en dit ook op de langeduur blijven. De functionele eisen aan de folies te stellen zijn dan ook daarop gericht.

De functionele eisen die aan de folie gesteld dienen te worden zijn afhankelijk van de belastingen die op de folies worden uitgeoefend en de te stellen eisen voor wat betreft doorlatendheid, duurzaamheid en zekerheid. De belastingen worden goeddeels bepaald door de toepassing en door de kwaliteit van ontwerp en aanleg.

3.2 TOEPASSINGSGBIEDEN

Wat betreft de toepassing van folies ter bescherming van het milieu kunnen, in verband met te stellen eisen (par.3.4) de volgende gebieden worden onderscheiden:

- I *Algemene permanente stortplaatsen voor huishoudelijk afval en daarmee gelijk te stellen industrieel afval, stortplaatsen voor grofvuil, opslagplaatsen van grondstoffen, afscherming van andere milieubedreigende activiteiten;*
- II *Tijdelijke opslagplaatsen voor verontreinigde grond, niet direct te verwerken chemisch afval etc.;*
- III *Stortplaatsen voor industrieel afval en monodeponieën;*
- IV *Bovenafdichtingen met eindafdekking (folie niet in direct zonlicht);*
- V *Bovenafdichtingen zonder eindafdekking (folie in direct zonlicht).*

Er kunnen andere specifieke gebieden worden onderscheiden, zoals:

- * *opslag van chemicaliën en andere milieubedreigende stoffen (bedrijfsterreinen, werkplaatsen, benzinstations en industriële installaties);*
- * *tijdelijke bescherming van de omgeving tegen de gevolgen van calamiteiten;*
- * *scheiding van vaste of vloeibare grondstoffen of producten;*
- * *bouwstoffen die worden ingepakt met een bovenafdichting.*

Deze gebieden laten zich beschrijven door één van de hierboven genoemde categorieën I, II of III.

Voor toepassing I is in het bijzonder de belasting ten gevolge van chemische aantasting moeilijk voorstelbaar. Er bestaat weinig zekerheid over de aard van het te storten afval. De eisen wat betreft chemische resistentie zijn daarom breed gekozen, waarbij de chemicaliënmengsels weergegeven in tabel 3 zijn gekozen als zijnde representatief voor hun groep.

Voor toepassing II is naast een duidelijke chemische belasting, eventueel met wisselende chemicaliën, de extra mechanische belasting ten gevolge van storten en vervolgens verwijderen belangrijk.

Voor toepassing III is de belasting ten gevolge van de chemische aantasting beter voorspelbaar dan voor

groep I en groep II. De eisen betreffende chemische resistentie zijn daarom veel gericht dan voor toepassing I en II. De folie van een afdichting van een vliegassdeponie behoeft bijvoorbeeld slechts chemisch resistent te zijn tegen vliegass en het daardoor gesijpelde percolatiewater. Dit opent voor dit soort stoffen de mogelijkheid voor het toepassen van meer flexibele materialen, die vaak wat minder resistent zijn tegen aantasting door organische verbindingen dan bijvoorbeeld HDPE.

Voor toepassing IV en V zijn de deformaties, die optreden ten gevolge van ongelijke zettingen van het gestorte materiaal een belangrijke belasting. Hoewel er zeker ook sprake kan zijn van een aanmerkelijke belasting ten gevolge van chemische aantasting (eventuele condensatie van dampen tegen de koude afdichting en in het talud af te voeren percolaat) wordt voor bovenafdichtingen de flexibiliteit van de folie van groter belang geacht dan de chemische resistentie, de eis voor de chemische resistentie van folies voor deze toepassing is daarom enigszins aangepast. (zie par. 3.2 bij materiaal PE)

Voor toepassing V is de belasting door de UV straling in het zonlicht, die de zogenaamde fotochemische aantasting kan veroorzaken van groot belang. De toe te passen folie dient hiertegen extra resistent te zijn.

Voor civiele toepassingen van geomembranen is het waterdicht zijn de belangrijkste eis en speelt de interactie met chemicaliën niet of nauwelijks. Op de eisen voor onder andere civiele toepassingen wordt ingegaan in hoofdstuk 4 van deel II.

3.3 BELASTINGEN

De belastingen die op de geomembranen komen kunnen worden onderscheiden in korteduur belastingen en langeduur belastingen.

Korteduur belastingen zijn die, welke optreden tijdens de aanleg van de voorziening. Zij zijn afhankelijk van de methode van aanleg en van de zorg, die de verlegger besteedt aan het vermijden van extra belastingen.

Langeduur belastingen die op geomembranen worden uitgeoefend zijn afhankelijk van het ontwerp en de constructie van de voorziening en de bodemgesteldheid ter plaatse. Daarnaast speelt de beoogde toepassing een grote rol. De belastingen betreffen chemische aantasting, deformaties ten gevolge van ongelijkmatige grondzettingen, foto-chemische aantasting, biologische aantasting en beschadiging door interne en externe oorzaken.

3.4 EISEN

3.4.1 Inleiding

De te stellen functionele eisen kunnen als volgt worden samengevat:

- A *De folie mag bij het verlaten van de fabriek geen poriën of beschadigingen vertonen. De eventueel in de fabriek gemaakte verbindingen moeten waterdicht zijn.*
- B *De folie en de verbindingen daarin moeten voldoende sterk zijn om de folie te kunnen transporteren en te kunnen leggen, ook indien de omstandigheden niet optimaal zijn.*

- C *Hoewel dit in theorie niet kan voorkomen -de folie moet op een laag schoon zand worden gelegd- moet de folie toch een zekere weerstand bieden tegen beschadiging door scherpe stenen, takken, betonijzer e.d.*
- D *De folie moet de zettingen in de bodem kunnen volgen in gelijktijdig contact met het milieu zonder dat daarbij lekkage ontstaat, gedurende de vereiste levensduur.*
- E *Naast de eisen gesteld aan de blijvende waterdichtheid van de folie moeten tevens eisen worden gesteld aan de mate waarin stoffen door de, waterdichte, folie heen permeëren.*
- F *De folie mag, door het afscheiden van stoffen, het milieu niet belasten.*

Bovenstaande geabstraheerde eisen zijn nader uitgewerkt in 3.4.2. In 3.4.3 zijn de uitgewerkte eisen tenslotte nogmaals kort samengevat.

In een aantal gevallen wordt onderscheid gemaakt op basis van de in par.3.2 genoemde toepassingsgebieden, daar de toepassing een belangrijke invloed op de optredende belastingen heeft.

3.4.2 Nader uitgewerkte eisen

A. Om een waterdichte laag te kunnen aanbrengen

-A.1 *De folie moet bij het verlaten van de fabriek waterdicht zijn.*

In de Richtlijn Geomembranen wordt voor stortplaatsen met een permanent karakter, waar van de afdichting een doorlatendheid nihil en een grote zekerheid wordt geëist, een dikte van 2,0 mm voor de kunststof folie afdichtingslagen geëist. Voor andere milieutoepassingen met een meer tijdelijk karakter of wanneer een zekere doorlatendheid is toegelaten en de vereiste zekerheid matig is, moet de minimum laagdikte op 1,5 mm worden gesteld. In dit laatste geval kan, voor kleine voorzieningen, als bij de aanleg geen verbindingen in het veld worden gemaakt, met een minimum laagdikte van 1,0 mm worden volstaan. In verband met de verwerkbaarheid wordt het gebruik van 1,0 mm dikke folies ten behoeve van de bodembescherming in het algemeen afgeraden.

Bij onversterkte kunststoffolie in deze dikten is het optreden van kleine, visueel moeilijk waarneembare, ondichtheden in de folie, zogenaamde pinholes, weinig waarschijnlijk. De noodzaak blijft dan wel aanwezig om de folies visueel te beoordelen op de aanwezigheid van "scheuren, holten en blazen".

Bij versterkte folies dient wel op waterdichtheid te worden gekeurd daar de afdichtende kunststoflaag slechts een gering deel uitmaakt van de totale dikte. Dit dient bij voorkeur continu of anders zeer frequent steekproefsgewijze te gebeuren.

-A.2 *Met de folie moeten betrouwbare verbindingen kunnen worden gemaakt.*

Voor de lange naden moeten verbindingen vervaardigd kunnen worden volgens zoveel mogelijk geautomatiseerde processen. Het type verbinding en het vervaardigingsproces moeten de mogelijkheid openen om grote lengten naad eenvoudig en betrouwbaar op waterdichtheid en sterkte te controleren. Voor het uitvoeren van detailwerk kan van niet-automatische processen gebruik worden gemaakt, daar dit werk toch in totaal wordt gecontroleerd. Het uiterlijk van de verbindingen moet voldoen aan de eisen gesteld in Deel II van deze Protocollen (par.2.6.1 en figuur 1). Daarnaast moeten uit de lassen vervaardigde proefstukken voldoen aan de eisen gesteld in Tabel 3.1.

TABEL 3.1 Eisen aan lassen in onversterkte materialen.

Eigenschap	Eis
Trekslagsterkte (zie 5.3.3)	1)
Afpelproef (zie 5.3.2)	Vloei ²⁾

- 1) Voor PE-HD materialen geldt de eis dat de trekslagsterkte tenminste 250 kJ/m² bedraagt. (zie ook par.5.2.8) en de breuk een taai karakter heeft. Voor de andere materialen geldt dat de trekslagsterkte tenminste 50% moet zijn van de waarde gemeten aan ongelast materiaal, echter met het proefstuk conform DIN-EN-ISO 8256¹³, type A.
- 2) Voor deze materialen geldt bovendien de eis dat het materiaal buiten de las vloeit of taai breekt voordat 30% van de las is afgepeld.

Voor versterkte materialen geldt de eis, dat de kunststoflaag van het weefsel moet loskomen, daarnaast moet de sterkte van de las in de trekproef tenminste 75% van het ongelaste materiaal zijn.

B. Om beschadiging tijdens transport en aanleg zoveel mogelijk te vermijden

-B.1 *De folie dient voldoende korteduur treksterkte te bezitten.*

Het materiaal moet de krachten kunnen opnemen, die bij het transporteren en leggen van de folie daarop worden uitgeoefend, zonder dat in de folie ontoelaatbare deformaties of beschadigingen optreden. In dit verband wordt voor de toepassingen I t/m III de eis gesteld dat bij 5 % rek de trekkracht ten minste gelijk moet zijn aan 8 kN/m strookbreedte.

N.B. Om tijdens de aanleg de folie niet permanent te beschadigen verdient het aanbeveling voor materialen waarvan het trek-rek diagram een min of meer duidelijk vloeipunt vertoont (zie figuur 4) ook op de korte duur 50 % van de rek bij vloei niet te overschrijden. Bij PE betekent dit in het algemeen 5 %. Bij materialen die geen vloeipunt vertonen zou de deformatie moeten worden beperkt tot circa 50 % van de rek bij breuk. Ditzelfde geldt voor de versterkte materialen. Het bovenstaande geldt indien een niet-voorgeconfectioneerde folie wordt gelegd. Wanneer gelaste folie wordt gelegd, mag deze, wanneer er sprake is van een vloeigrens bij kortstondige belasting, maar tot ten hoogste 60 % van de *vloeispanning* (berekend op de doorsnede naast de las) van het gelaste materiaal worden belast. Wanneer het gelaste materiaal geen vloeigrens vertoont mag het bij kortstondige belasting maar tot ten hoogste 50 % van de *breuksterkte* van de las worden belast. Doordat in de folie de las plaatselijk een verandering van doorsnede geeft, kan de deformatie niet worden gehanteerd als

criterium, daar de meetlengte niet gedefinieerd is.

-B.2 *De folie moet voldoende weerstand tegen doorscheuren vertonen.*

Bij het bepalen van deze eigenschap wordt de kracht gemeten om een genormaliseerd proefstuk door te scheuren. De waarde die gevonden wordt is sterk afhankelijk van het gebruikte proefstuk en van het feit of in het proefstuk een scherpe kerf is aangebracht. In de Richtlijn geomembranen wordt voor toepassing I t/m III de eis gesteld dat de doorscheursterkte, wanneer bepaald volgens NEN 3056¹⁴, gekerfd, tenminste 100 N/mm moet bedragen. Aan folies met een dikte lager dan 1,5 mm wordt, conform de eis in de Bouwkundige Richtlijn Mestbassins¹⁵, de beproeving volgens DIN 53363¹⁶ uitgevoerd. In de Richtlijn is het een functionele eis. De kracht nodig om een bepaald proefstuk door te scheuren is praktisch gesproken evenredig met de dikte van de folie. De doorscheursterkte van een materiaal wordt daarom opgegeven per mm dikte. Van de folie moet echter een minimale doorscheurkracht worden geëist. Voor mestbassins geldt dat materiaal met minder scheursterkte dus in grotere dikte moet worden toegepast. De hoogte van de eis hangt samen met de toepassing en de gewenste zekerheid. Voor doorlatendheid nihil en een grote zekerheid is de eis 200 N. De doorscheursterkte is een kenmerk voor de kwaliteit van een bepaald materiaal. De eis voor sommige materialen kan daarom hoger zijn dan de minimum eis. De eis geldt voor de proef in de zwakste richting van het materiaal. De beproeving wordt uitgevoerd volgens par. 7.3.7.

-B.3 *De folie moet voldoende weerstand tegen beschadiging door vallende voorwerpen, bijvoorbeeld gereedschap, bezitten.*

Bij een proef volgens DIN 16726, art. 5.12¹⁷, die bestaat uit het laten vallen van een lichaam waarvan het uiteinde de vorm van een kogel heeft met een diameter van 12,7 mm en met een massa van 500 gram, mag bij een valhoogten van 1500 mm in een 2 mm dik geomembraan geen doorslag optreden. De vereiste valhoogte is afhankelijk van de gewenste zekerheid (zie tabel 3.2 voor een 2 mm dikke folie). De materiaaldikte heeft een grote invloed op het te bereiken resultaat. Dunnere folies hebben een geringere doorslagsterkte. De doorslagsterkte neemt meer dan lineair af met de dikte. Voor andere toepassingen dan ten behoeve van de bodembescherming kunnen geringere eisen worden gesteld aan de doorlatendheid en de zekerheid (zie hoofdstuk 4 deel II).

TABEL 3.2 Eis aan de valhoogte.

Functionele eis aan de afdichting	Vereiste valhoogte (mm)
Doorlatendheid nihil Zekerheid groot	1500
Doorlatendheid klein Zekerheid matig	750

Deze eis is zeer belangrijk omdat het in de praktijk tot nu toe nog niet mogelijk is gebleken grote vlakken uitgelegde folie betrouwbaar op de aanwezigheid van beschadigingen ten gevolge van vallende voorwerpen, scherp schoeisel e.d. te controleren. Het verdient daarom aanbeveling voor alle toepassingen waarbij de waterdichtheid een belangrijke eis is, de foliedikte zodanig te kiezen, dat in ieder geval aan de eis van tabel 3.2 wordt voldaan.

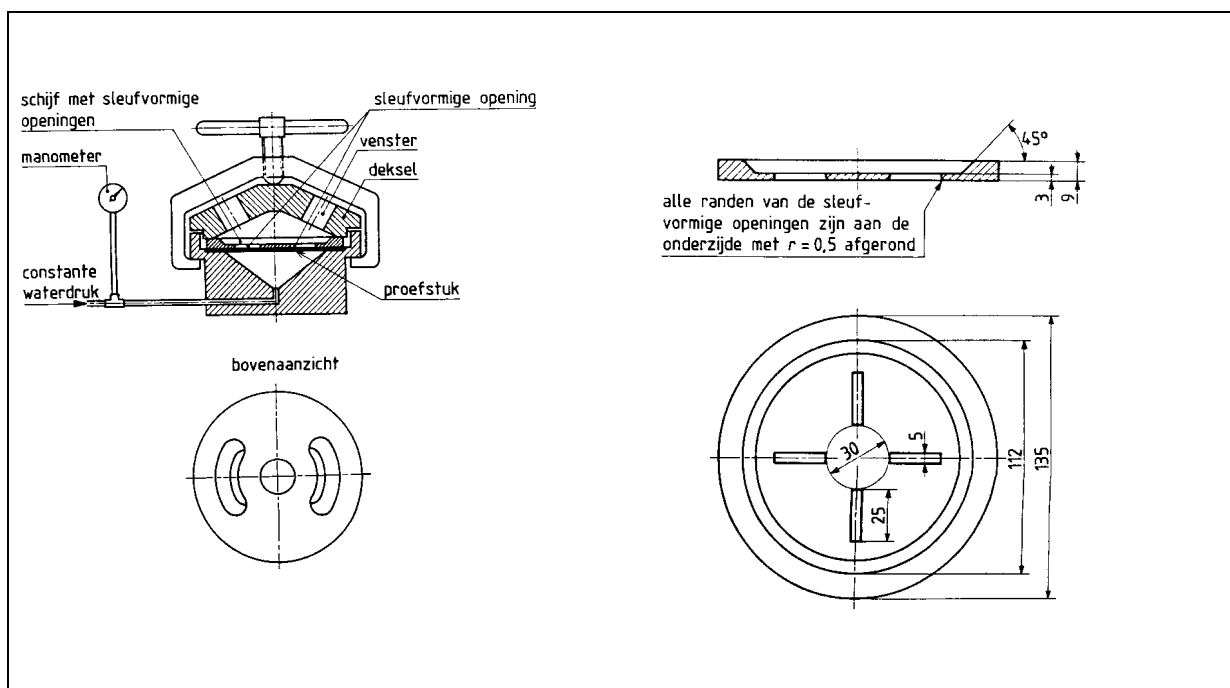


Fig. 8 Spleetdrukapparaat.

-B.4 *De folie moet voldoende bestand zijn tegen abnormale temperaturen.*

De folie moet zowel bij hoge als bij lage temperatuur hanteerbaar blijven. Wanneer de folie op een steil talud open ligt bij warm weer mogen geen uitzakking e.d. optreden en mag de folie bij verleggen niet ontoelaatbaar vervormen. Wat betreft de hoge temperatuur eist de Richtlijn Geomembranen dat bij 60 °C de kracht die optreedt bij 5 % rek nog tenminste 2,0 kN/m bedraagt. Wat betreft de lage temperatuur eist de Richtlijn Geomembranen dat bij een vouwproef bij -20 °C volgens par. 7.3.3 geen beschadigingen (scheurjes, delaminaties) optreden. Voor versterkte PVC folie wordt voor de toepassing van mestzakken een vouwproef uitgevoerd bij -10 °C.

C. Om voldoende bestand te zijn tegen onzorgvuldige voorbereiding van de ondergrond

- C.1 *De folie moet voldoende doorpunssterkte, d.w.z. voldoende weerstand tegen doorprikken door scherpe stenen, takken, betonijzer e.d. bezitten.*

De materialen worden hierop onderzocht door het uitvoeren van een zogenaamde spleetdrukproef, o.a. weergegeven in DIN 16726¹⁸. De folie wordt in het apparaat, afgebeeld in figuur 8, gebracht en vervolgens gedurende 72 uur belast met een overdruk van 6 bar. Gedurende deze proef mag de folie niet gaan lekken.

De spleetdrukproef levert voor folies vanaf 1,5 mm geen extra informatie na de proef beschreven in B.3. Voor folies met een dikte kleiner dan 1,5 mm levert deze proef extra informatie, omdat voor deze dunnere folies vaak een lagere zekerheid wordt gekozen. De spleetdrukproef wordt dus alleen voorgeschreven voor folies met een dikte kleiner dan 1,5 mm.

- D. Om de zettingen in de bodem te kunnen volgen en blijven volgen in gelijktijdig contact met het milieu

- D.1 *De folie dient voldoende langduursterkte en oxidatiebestandheid voor de beoogde toepassing te bezitten.*

Van de gebruikte grondstof moet op grond van onderzoeksrapporten van onafhankelijke instituten of op grond van zeer langdurige praktijkervaring met deze grondstof kunnen worden vastgesteld, dat het materiaal de voor de toepassing vereiste duurzaamheid heeft wat betreft langduursterkte, oxidatiebestandheid en intrinsieke veroudering. Dit noemt men materiaalkwalificatie.

In de Richtlijn Geomembranen wordt voor de duurzaamheid de volgende eisen gesteld:

Duurzaamheid groot	Levensduur tenminste 50 jaar ¹ .
Duurzaamheid matig	Levensduur tenminste 30 jaar.
Duurzaamheid gering	Levensduur tenminste 5 jaar.

Materialen, die zijn gekwalificeerd voor de fabricage van gasbuizen van HDPE volgens prEN-ISO 9080¹⁹ of ISO 4437²⁰, met een MRS van tenminste 8,0 N/mm² bij 20°C, worden geacht een levensduur van tenminste 50 jaar te bezitten. Daarnaast wordt verwacht dat de folies hieruit vervaardigd, mits deze voldoen aan de eisen voor wat betreft spanningscorrosie en thermische stabiliteit, voldoende langduursterkte zullen bezitten voor de kwalificatie "duurzaamheid groot".

Andere HDPE en MDPE materialen kunnen tevens worden gekwalificeerd, namelijk door het uitvoeren van een onderzoek volgens prEN-ISO 9080 aan buizen vervaardigd van dit materiaal. De buizen dienen een MRS te bezitten van 8,0 N/mm².

LLDPE, HDPE-flex, LDPE-flex en andere gemodificeerde polyolefinen kunnen op hun duurzaamheid worden gekwalificeerd door het uitvoeren van ovenproeven bij 100 °C, gedurende 1000 uur, waarbij de trekslagsterkte niet meer dan 50 % mag veranderen en de

¹ De levensduur is afhankelijk van de gebruikscondities. Een levensduur van 100 jaar wordt momenteel geëist voor civiele toepassingen. De versnelde duurzaamheidsbeproevingen moeten worden aangepast als een langere levensduur wordt geëist (zie deel II hoofdstuk 4).

smeltindex niet meer dan 25 % (zie par. 7.2.2). Daarnaast dient te worden aangetoond dat er geen scheurvorming optreedt onder een rek van 6,0 %. Hiervoor zijn nog geen standaard metingen beschikbaar. Een Landertest, Bell Telephone test, biaxiale rekproef of craze-initiatiemeting gedurende langere tijd al dan niet bij verhoogde temperatuur kan voorlopig worden gebruikt totdat een definitieve keuze is gemaakt.

Aldus gekwalificeerde materialen worden geacht de kwalificatie "duurzaamheid groot" te bezitten.

PVC-P dat voldoet aan de verdere functionele eisen en aan de controle eisen kan worden geacht ten minste een matige duurzaamheid te bezitten, indien gebruik wordt gemaakt van monomere weekmakers. Een grote duurzaamheid kan wel worden bereikt bij gebruik van polymere weekmakers.

N.B. *In verband met het voorgaande geldt dat alleen folies waarvan een geringe duurzaamheid wordt vereist mogen zijn vervaardigd van extern regeneraat of recyclebaar materiaal van onbekende herkomst zonder overeengekomen specificaties. Aan folies vervaardigd van grondstof afkomstig van gebruikte folies met een bekende herkomst, bekende specificaties en de oorspronkelijke kwalificatie "duurzaamheid groot", kan, indien zij aan de eisen vermeld in tabel 6.1 met de aanduiding C en D voldoen, de kwalificatie "duurzaamheid matig" worden verleend. Direct hergebruik van foliemateriaal kan alleen voor materialen die de oorspronkelijke kwalificatie "duurzaamheid groot" hadden in die toepassingen, waarbij een "duurzaamheid matig" en een zekerheid "matig" zijn vereist. Zij dienen aan de eisen met de aanduiding C en D in Tabel 6.1 te voldoen, waarbij in verband met het maken van verbindingen de nodige aandacht moet worden besteed aan de rechtheid van de kanten en de vlakheid van de folie. Extra aandacht dient te worden gegeven aan de lasbaarheid van bovengenoemde folies, dit in verband met mogelijke ongunstige invloed daarop van restanten vreemde stoffen in de grondstof c.q. de folie.*

-D.2 *De folie moet met het oog op de toepassing voldoende chemisch resistent zijn.*

Wanneer het materiaal onderworpen wordt aan de chemische resistentieproef (zie par.7.2.3), gebaseerd op ISO R-62, zoals uitgewerkt in DIN 53495²¹, mag afhankelijk van de toepassing de massaverandering en de verandering in mechanische eigenschappen niet meer zijn dan de waarde in tabel 3.3. De monsters worden gedurende twee maanden ondergedompeld in het desbetreffende medium bij 30°C. De proefmedia zijn afhankelijk van de toepassing (zie par. 3.2 en tabel 3.3), zij zijn vermeld in tabel 3.4, 3.5 en 3.6.

TABEL 3.3 Samenvatting van de eisen aan chemische resistentie.

TOEPASSINGSGEBIED					
	I	II	III	IV	V
Proefmedia in tabel	3.4,5 ¹⁾	3.4,5 ¹⁾	²⁾	3.4,5 ³⁾	3.4,5 ³⁾
Volumeverandering (%) ⁴⁾	+15/-5	+15/-5	+4/-1	+20/-5	+20/-5
Verandering					
Vloiegrens/treksterkte (%)	-25/+10	-25/+10	-15/+10	-35/+10	-35/+10
Rek bij breuk(%)	±50	±50	±50	±50	±50
Vouwproef -20°C	g.b.	g.b.	g.b.	g.b.	g.b.

g.b.= geen scheuren of breuken, voor versterkte materialen geen breuken tot op het weefsel.

- 1) Bij het stellen van de eis voor toepassing I en II (zie par.3.2) wordt er van uitgegaan, dat voor de afdichting agressieve stoffen ongeacht de absolute concentratie slechts tot een verzadigingsgraad van maximaal 25% in het gestorte materiaal c.q. het percolatiewater zullen voorkomen. Voor deze toepassingen geldt bovendien de eis, dat in contact met de chemicaliën vermeld in tabel 3.6 het materiaal geen grotere achteruitgang vertoont dan 50 % in treksterkte c.q. vloiegrens.
- 2) Voor toepassing III (zie par.3.2) is het proefmedium het te storten materiaal c.q. het daarvan te verwachten percolaat.
- 3) In geval de bovenafdichting wordt toegepast op een deponie van toepassing III (zie par.3.2) geldt dat de folie ook resistent moet zijn tegen het te storten materiaal en zijn afbraakproducten, waarbij de verandering van massa en van mechanische eigenschappen niet groter mag zijn dan aangegeven onder kolom IV en V.
De optredende zwelling wordt in eerste benadering verkregen met de volgende vergelijking:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\frac{\Delta m}{r_{\text{proefmedium}}}}{\frac{m_{\text{folie-initieel}}}{r_{\text{folie}}} + \frac{\Delta m}{r_{\text{proefmedium}}}}$$

N.B. 1^e Naar aanleiding van de eisen gesteld voor toepassing III kan worden opgemerkt dat deze gelden indien voor de beproeving het te storten materiaal c.q. het percolaat dat daaruit ontstaat, wordt gebruikt. Wanneer individuele componenten van het materiaal c.q. van het percolaat voor de beproeving worden gebruikt kunnen de eisen vermeld in kolom I en II worden gehanteerd, mits deze component ongeacht de concentratie in het percolaat slechts tot een verzadigingsgraad van 25 % voorkomt.

2^e In tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de chemische resistentie van de verschillende kunststoffen. Daarbij is een wijze van classificatie gebruikt, die ook in de meeste tabellen uit de literatuur en in diverse normen wordt gebruikt. De relatie tussen deze classificatie en de resultaten

van de in deze protocollen weergegeven chemische resistentieproef is weergegeven in tabel 4.3.

TABEL 3.4 Proefvloeistoffen.

Vloeistof	Samenstelling
1. Benzine en aromaten	40 vol% iso-octaan 35 vol% toluen 15 vol% xyleen 10 vol% α -methylnaftaleen
2. Minerale oliën	35 vol% dieselolie 35 vol% paraffine (b.v. Paraffine afk. Merck 7174)) 30 vol% smeerolie (15W-40 motorolie)
3. Alcoholen	30 vol% methanol 30 vol% isopropanol 40 vol% 1,2-ethaandiol
4. Alifatische esters en ketonen	50 vol% ethylacetaat 50 vol% methylisobutylketon
5. Alifatische aldehyde	35 gew% opl. van formaldehyde in water (b.v. Merck 4003)
6. Anorganische minerale oxiderende zuren	10 vol% zwavelzuur(96%) 10 vol% salpeterzuur(65%) in 800 ml water
7. Anorganisch loog	60 gew% natronloog in water

TABEL 3.5 Samenstelling van synthetisch percolatiewater.

Component	Concentratie (g/l)
Azijnzuur	7,5
Propionzuur	2,5
Isoboterzuur	0,4
Boterzuur	7,0
Isovaleriaanzuur	0,4
Valeriaanzuur	1,8
Capronzuur	4,5
Enantzuur	4,0
Glucose	0,20
Natriumchloride	0,35
Natriumsulfaat	0,30
Calciumchloride	0,10
Magnesiumsulfaat.7 H ₂ O	0,20
Ammoniumfosfaat	0,50
Gedestilleerd water	

De pH van de vloeistof wordt met behulp van 16 ml ammoniak oplossing (4N) en verder met behulp van NaOH op 6 gebracht.

TABEL 3.6 Gechloreerde koolwaterstoffen

Vloeistof	Samenstelling
Alifatische gechloreerde koolwaterstoffen	30 vol% trichloorethaan 30 vol% tetrachloorethaan 40 vol% dichloorethaan

-D.3 *De folie moet met het oog op de toepassing voldoende resistent zijn tegen spanningscorrosie.*

Wanneer het materiaal volgens par. 7.3.9. wordt onderworpen aan een beproeving op de weerstand tegen spanningscorrosie volgens ASTM D 1693²², conditie B, de zogenaamde Bell Telephone Test, mogen binnen 1000 uur geen scheuren ontstaan. De beproeving moet worden uitgevoerd met de chemicaliën en voor de diverse toepassingen aangegeven in Tabellen 3.3, 3.4 en 3.5 en met een oplossing van 2 % Marlon A375 in water of een vergelijkbare waterige detergent oplossing.

N.B. Weekgemaakt PVC en CPE zullen door hun eigenschappen altijd aan deze eis voldoen en behoeven niet te worden beproefd.

-D.4. *De folie moet voldoende weerstand tegen U.V.-veroudering vertonen voor opslag of voor toepassing in de open lucht.*

Wanneer het materiaal volgens par. 7.2.5 wordt onderworpen aan een beproeving op de weerstand tegen U.V.-veroudering wordt van alle foliematerialen vereist dat na een kunstmatige belichting, die overeenkomt met een totale globale energie van 1,75 GJ/m² (overeenkomend met een half jaar buitenexpositie in Nederland) de folie voor alle toepassingen voldoet aan de in tabel 3.7 gestelde eisen. Deze eis is gesteld om vast te stellen dat de achteruitgang in eigenschappen van de folie bij opslag in de buitenlucht beperkt blijft.

Wanneer het materiaal bedoeld is voor toepassing V en andere toepassingen in de open lucht dient het:

- a) Te worden onderworpen aan een extra beproeving op de weerstand tegen U.V. veroudering. Voor deze toepassing is vereist dat na een kunstmatige belichting, die overeenkomt met een totale globale energie van 35,0 GJ/m² (overeenkomend met tien jaar buitenexpositie in Nederland) de folie moet voldoen aan de in tabel 3.8 gestelde eisen. Deze eis is gesteld om vast te stellen, dat de duurzaamheid bij toepassen in de open lucht ten minste 10 jaar zal zijn.

TABEL 3.7 Toelaatbare verandering na U.V.-veroudering (1,75 GJ/m²)

Eigenschap	Eisen			
	Toelaatbare verandering t.o.v. initiële waarde (%)			
	met vloeigrens		zonder vloeigrens	
	e _n ≤ 1,5 mm	e _n > 1,5 mm	e _n ≤ 1,5 mm	e _n > 1,5 mm
Vloeispanning (onv.mat.)	≤ 15	-	-	
Treksterkte (onv.mat.)	-	-	≤ 30	≤ 30
Rek bij breuk (onv.mat.)	≤ 25	-	≤ 25	≤ 25
Trekslagsterkte (onv.mat.)	-	≤ 30	-	≤ 30
Vouwproef -20°C (onv.mat.)	g.b.	-	g.b.	g.b.
Vouwproef -10°C (vst.mat.)	-	-	g.b.	g.b.

g.b.= geen scheuren of breuken, voor versterkte materialen geen breuken tot op het weefsel.

e_n = nominale foliedikte.

TABEL 3.8 Toelaatbare verandering na U.V.-veroudering (35 GJ/m²)

Eigenschap	Eisen			
	Toelaatbare verandering t.o.v. initiële waarde (%)			
	met vloeigrens		zonder vloeigrens	
	e _n ≤ 1,5 mm	e _n > 1,5 mm	e _n ≤ 1,5 mm	e _n > 1,5 mm
Vloeispanning (onv.mat.)	≤ 25	-	-	-
Treksterkte (onv.mat.)	-	-	≤ 50	≤ 50
Rek bij breuk (onv.mat.)	≤ 50	-	≤ 50	≤ 50
Trekslagsterkte (onv.mat.)	-	≤ 30	-	≤ 30
Vouwproef -20°C (onv.mat.)	g.b.	-	g.b.	g.b.
Vouwproef -10°C (vst.mat.)	-	-	g.b.	g.b.

g.b.= geen scheuren of breuken, voor versterkte materialen geen breuken tot op het weefsel.

e_n = nominale foliedikte.

- b Te worden onderworpen aan een chemische resistentieproef volgens D.2. met als agens 5-6% zwaveligzuur, waarbij aan de eisen gesteld in tabel 3.3 moet worden voldaan. HDPE en LLDPE, dat aan de verdere eisen voldoet behoeft op punt b niet te worden beproefd.

D.5 *De folie moet resistent zijn tegen biologische invloeden*

De folie moet, wanneer zij beproefd wordt volgens par.7.2.6, resistent zijn tegen aantasting door micro-organismen. Folies van PE worden geacht hiertegen resistent te zijn. De folie moet wanneer zij wordt beproefd overeenkomstig par.7.2.7 resistent zijn tegen worteldoorgroei en wanneer zij wordt beproefd volgens 7.2.8 tegen diervraat. Deze eigenschap is sterk afhankelijk van de materiaaldikte. Folie van nominaal tenminste 2 mm wordt in het algemeen geacht hiertegen bestand te zijn.

E. Om het door de afdichting dringen van stoffen te beperken

-E.1 *De folie moet voldoende ondoordringbaar zijn.*

De folie moet voldoende ondoordringbaar zijn voor de stoffen, waartegen moet worden beschermd.

Het onderwerp diffusie en permeatie is in studie. Op dit moment kunnen nog geen concrete eisen worden gesteld:

Er bestaat reeds een langdurige ervaring met HDPE. PE materiaal met een vloeispanning van tenminste 16 N/mm² wordt geacht wat betreft permeatie voldoende HDPE eigenschappen te bezitten, zodat met een 2 mm dikke folie een redelijke ondoordringbaarheid wordt bereikt.

In het algemeen kan worden gesteld, dat 2 mm dikke kunststoffolie voor de meeste anorganische verbindingen met wat grotere atomen en moleculen, zoals zware metalen, praktisch impermeabel zal zijn.

Er bestaan HDPE folies gecombineerd met een aluminium folie. Over de duurzaamheid van dit materiaal is nog weinig bekend. Daarnaast staat wel vast dat, gezien de beperkte rek bij breuk van het aluminium folie, dit materiaal alleen in niet zelfdragende constructies kan worden toegepast.

F. Om zorg te dragen dat stoffen uit de folie het milieu niet belasten

-F.1 *De folie mag door afgifte van stoffen het milieu niet belasten.*

De folie mag, beproefd volgens ISO 62 (DIN 53495), na 1000 uur bij 50°C niet meer dan 3,0% uitloging geven.

Wanneer de folie in een waterwingebied wordt toegepast mag deze geen toxische stoffen afgeven. Voor de folie dient daarom een Attest Toxicologische Aspecten (ATA) van het KIWA te zijn afgegeven.

3.4.3 Samenvatting functionele eisen

In het voorgaande werden de functionele eisen uitgebreid besproken. In deze paragraaf zullen deze eisen worden samengevat. Tussen haakjes wordt verwezen naar de betreffende subparagraaf in 3.4.2.:

1. De folie moet percolaatwaterdicht zijn (A.1).
2. In de folie moeten met een semi-automatisch lasapparaat, ook op locatie, betrouwbare verbindingen over grote lengtes kunnen worden vervaardigd, die voldoen aan de eisen in tabel 3.1 (A.2).
3. De kracht benodigd om de folie 5% te rekken dient voor toepassingen I t/m III bij 23°C tenminste 8,0 kN/m te bedragen (B.1) en bij 60°C ten minste 2,0 kN/m (B.4).
4. De doorscheursterkte dient tenminste 100 N/mm te bedragen (B.2).
5. De folie moet bij beproeving op de weerstand tegen mechanische doorslag bij de in tabel 3.2 voor de onderhavige toepassing aangegeven valhoogte van het vallichaam dicht blijven (B.3).
6. De folie mag bij het onderwerpen aan de vouwproef bij -20°C geen scheuren vertonen (B.4).
7. De folie, met foliedikte $\leq 1,5$ mm, mag bij het uitvoeren van de spleetdrukproef geen lekkage vertonen (6 bar, 72 uur) (C.1).
8. De folie dient voor de beoogde toepassing voldoende duurzaamheid te hebben tegen langeduur mechanische belasting, oxidatie door luchtzuurstof en structuurveranderingen op de langeduur (intrinsieke veroudering) (D.1).
9. De folie dient voor de beoogde toepassing voldoende chemisch resistent te zijn. De folie moet voldoen aan de eisen samengevat in tabel 3.3 (D.2).
10. De folie dient voor de beoogde toepassing voldoende resistent te zijn tegen spanningscorrosie (D.3).
11. De folie moet voor de beoogde toepassing voldoende weerstand tegen UV veroudering vertonen. De folie dient te voldoen aan de eisen vermeld in tabel 3.7 en 3.8 (D.4).
12. De folie moet resistent zijn tegen aantasting door micro-organismen, diervraat en wortel-doorgroei (D.5).
13. De folie moet voor de beoogde toepassing voldoende ondoordringbaar zijn (E.1).
14. De folie mag geen stoffen afgeven, die het milieu belasten (F.1).

De beproevingen die dienen te worden uitgevoerd om vast te stellen dat een foliemateriaal aan de functionele eisen voldoet en dat de folie op de juiste wijze is vervaardigd zijn samengevat in tabel 6.1.

3.5 EISEN PLAAT- EN BUISMATERIAAL

Als in de constructie foliemateriaal aan plaat- of buismateriaal wordt gelast, gelden voor dit plaat- en buismateriaal eisen overeenkomstig die voor het foliemateriaal. Het gaat hierbij met name om de eisen met betrekking tot de langeduursterkte en de oxydatiebestendigheid van het materiaal zelf en van de lasverbinding.

Het buis- en plaatmateriaal moet voldoende chemisch resistent zijn, voldoende weerstand bieden tegen spanningscorrosie, UV veroudering en biologische invloeden.

Deze benodigde beproevingen kunnen worden uitgevoerd als beschreven in paragraaf 3.4. De langeduursterkte van HDPE plaat- en buismateriaal hoeft niet te worden bepaald als kan worden aangetoond dat het een HDPE 80 materiaal betreft.

4 EVALUATIE VAN AFDICHTINGSFOLIES

Na eerst een overzicht te hebben gegeven van:

- de relevante eigenschappen van kunststoffen
- de gangbare in Nederland verkrijgbare geomembranen
- en de aan deze folies te stellen functionele eisen,

zal in dit hoofdstuk worden aangegeven in hoeverre de diverse folies mogen worden verwacht aan de eisen te kunnen voldoen. De beschikbare gegevens zijn gerangschikt naar het materiaal waaruit de folies worden vervaardigd. Ieder materiaal vertegenwoordigt een verzameling folies, die sterk in eigenschappen kunnen verschillen. Wanneer het enkelvoudige folies zijn kunnen de materiaalparameters zoals kristalliniteit, molecuulgewicht (ketenlengte) en molecuulgewichtsverdeling verschillen. In uit meerdere componenten vervaardigde folies kunnen eveneens de materiaalparameters verschillend zijn, maar bovendien kunnen de componenten in verschillende verhoudingen in de beschikbare folies voorkomen. In het bijzonder geldt dit voor versterkte folies waar de aard en hoeveelheid van het versterkingsmateriaal van overheersende invloed zullen zijn op de eigenschappen. Daarnaast zullen de verwerkingsomstandigheden grote invloed hebben op de eigenschappen van de meeste afdichtingsfolies.

Bij de evaluatie wordt uitgegaan van de aanname dat de betreffende folies daadwerkelijk aan de functionele eisen zijn getoetst en dat deze worden vervaardigd onder een sluitend systeem van kwaliteitsborging (zie Hst.6), waarbij aan de controle eisen wordt voldaan. Daarnaast wordt verondersteld dat voldoende is onderzocht en onderbouwd dat folie vervaardigd van het betreffende materiaal geschikt is als geomembraan.

In tabel 4.1 wordt een oriënterend overzicht gegeven, dat voor een deel is gebaseerd op door foliefabrikanten beschikbaar gestelde gegevens en dat verder is ontleend aan normen, literatuur en algemene kunststofkennis. Wanneer, gebruik makend van de evaluatietabel en op grond van andere overwegingen, een keuze is gemaakt voor folie van een bepaald materiaal dient terdege geverifieerd te worden of het te gebruiken fabrikaat folie aan de gestelde eisen voldoet. Tabel 4.2 geeft een nadere uitsplitsing van de reeds in tabel 4.1 aangegeven bestandheid tegen chemicaliën.

Tabel 4.3 legt een globale relatie tussen de classificatie gebruikt bij het opstellen van tabel 4.2 en het resultaat van de chemische resistentieproef zoals omschreven in par.7.2.3.

Tabel 4.4 geeft van de verschillende afdichtingsfolies de te verwachten korteduur mechanische eigenschappen, zoals de vloeigrens, rek bij vloeï, de treksterkte, de doorscheursterkte, de stijfheid enz.

TABEL 4.1 Evaluatie van afdichtingsfolies, die aan de functionele eisen en de controle eisen voldoen.

	HDPE	HDPE-flex	LLDPE VLDPE LDPE-flex	PVC ²⁾
Weerstand tegen permeatie zware metalen/anorg. verb. organische verbindingen metaalionen+org.verb.	+ 0/- ?	+ - ?	+ - ?	+ - ?
Bestandheid tegen chemicaliën benzine en olie percolatiewater van huisvuil ¹⁾ gechloreerde koolwaterstoffen aromatische koolwaterstoffen verdunde zuren geconcentreerde zuren sterk oxiderende media	+ + 0/- 0 + 0 -	0 + - - + 0 -	0 + - 0/- + 0 -	+/- + - - + 0/- -
Spanningscorrosiegevoeligheid	+	+	+	+
Mechanische eigenschappen korteduur treksterkte scheursterkte ponssterkte soepelheid langeduur biaxiale rek bij rek ≤5% bij rek 5-10% bij rek 10-20%	+ + + 0 + 0/- -	+ + + + + +/0 -	+ + + + + +/0 -	+ 0 0 + + 0
Duurzaamheid bestandheid tegen: zonlicht intrinsieke veroudering	+ +	+ +	+ +	+/- 0
Bestandheid biologische invloed Wortelgroei Knaagdieren bacteriën en schimmels	+ + +	+ + +	+ + +	+ +/- +/-
Uitvoerbaarheid aanleg	+	+	+	+

Verklaring:

- + goed geschikt
0 redelijk tot vrij goed geschikt
- minder geschikt of ongeschikt
? onvoldoende informatie beschikbaar
+/- afhankelijk van keuze
- ¹⁾ Algemene richtlijn
²⁾ Sterk afhankelijk van de samenstelling van het PVC-P

TABEL 4.2 Oriënterend overzicht van de chemische bestandheid van afdichtingsfolies tot 30 °C, die aan de functionele eisen en controle eisen voldoen.

	HDPE	HDPE flex ¹⁾	LLDPE VLDPE	LDPE flex ¹⁾	PVC-P ¹⁾
aceton	+	0	0	-	-
ammoniak 20%	+	+	+	+	+
azijnzuur 30%	+	+	+	+	+
benzeen	0	0/-	0/-	0/-	0/-
benzine	+	0/-	0	0/-	+/-
dieselolie	+	0	+/0	0/-	+
ethanol	+	+	+	+	+
glycerine	+	+	+	+	+
lijnolie	+	+	+	+	+
loog 15%	+	+	+	+	+
loog 40%	+	+/0	+	+/0	0
machine-olie	+	+	+	+	+/-
methylethylketon	+	0/-	0/-	0/-	-
methanol	+	+	+	+	-
salpeterzuur 25%	+	+/0	+/0	+/0	+
soda	+	+	+	+	+
tetrachloorkoolstof	0/-	-	-	-	-
tolueen	0	0/-	0/-	0/-	-
trichlooretheen	-	-	-	-	-
xyleen	0	0/-	0/-	0/-	-
zoutzuur (tot 10 %)	+	+	+	+	+
zwavelzuur (tot 40%)	+	+	+	+	+

Voor enkelvoudige chemische stof in zuivere vorm tenzij anders vermeld.

¹⁾ Afhankelijk van de samenstelling

+ bestand

0 gedeeltelijk bestand

- niet bestand

TABEL 4.3 Verband tussen classificatie en resistentieproef.

Eigenschap verandering	Classificatie Criteria		
	bestand	gedeeltelijk bestand	niet bestand
massa(%)	+4,0 tot -1,0	< -1,0 tot - 2,0 > +4,0 tot +15,0	<- 2,0 >+15,0
vloeigr./trekst.(%)	+10 tot -20	<-20,0 tot -53,0 >+10,0 tot +15,0	<-53,0 >+15,0
rek bij breuk (%)	+25 tot -50	<-50,0 tot -70,0 >+25,0 tot +50,0	<-70,0 >+50,0

De classificatie van de chemische resistentie gegeven in de tabellen 4.1 en 4.2. geldt voor contact met de stof in de aangegeven concentratie. Wanneer de verzadigingsgraad van de agressieve stof lager is dan 25 % (in dampvorm of in oplossing) kunnen materialen die gedeeltelijk bestand zijn worden toegepast.

TABEL 4.4 Korteduur mechanische eigenschappen van afdichtingsfolies die aan de functionele eisen en controle eisen voldoen.

	HDPE	HDPE-flex	LLDPE VLDPE LDPE-flex	PVC-P
vloiegrens (N/mm ²)	≥16	≥7,5 2)	≥8 2)	-
rek bij vloeï (%) (biax)	15-20	30	20-30	-
treksterkte (N/mm ²)	1)	1)	18 2)	16-18
rek bij breuk (%)	>400 4)	>400 4)	>400 4)	>250
doorscheursterkte (N/mm)	130	100-200	100-200	100
Youngs Modulus (N/mm ²)	800	3)	3)	3)

- 1) De treksterkte heeft bij dit materiaal geen praktische betekenis, de gevonden waarde is sterk afhankelijk van het gebruikte proefstuk.
- 2) Materialen met en zonder vloiegrens komen voor, de opgegeven treksterkte is voor materialen die geen vloiegrens vertonen.
- 3) De grootte van de Youngs Modulus is afhankelijk van de samenstelling van het materiaal.
- 4) De breukrek van deze materialen is vrijwel zonder praktische betekenis.

5 CONTROLE-EISEN

5.1 INLEIDING

Wanneer de folies worden vervaardigd onder goede kwaliteitsborging, zoals is beschreven in hoofdstuk 6, is het niet nodig dat de langeduur eigenschappen van afdichtingsfolies die voldoen aan de gestelde functionele eisen voortdurend worden onderzocht. Het is dan voldoende om enkele kenmerkende korteduur eigenschappen regelmatig te controleren volgens het in hoofdstuk 6 beschreven keuringsplan. Wanneer de resultaten van de controleproeven zich bevinden binnen de hierna op te geven grenzen zal de afdichtingsfolie voldoen. In dat geval zullen zowel de samenstelling van de afdichtingsfolie als de fabrikageomstandigheden ervan vrijwel overeenkomen met die van het reeds uitvoerig onderzochte typemateriaal. De controlemetingen vormen zo een wezenlijk onderdeel van het kwaliteitssysteem. De getalwaarden van de meetresultaten van de controleproeven op zichzelf zijn slechts van betrekkelijk belang.

5.2 EISEN AAN HET FOLIEMATERIAAL

5.2.1 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 relief is aangebracht moet dit regelmatig zijn. De hoogte of diepte van een relief mag niet groter zijn dan 0,25 mm. De door de fabrikant op de fabriek gemaakte verbindingen moeten regelmatig van uiterlijk zijn. (zie ook 5.3.1).

5.2.2 Afmetingen

Dikte

Overeen te komen tussen leverancier en afnemer, met inachtneming van de in de Richtlijn Geomembranen genoemde minima (par.2.2.1). De toleranties op de effectieve maat zijn samengevat in Tabel 5.1.

TABEL 5.1 Dikte, toelaatbare afwijkingen

	aspect	Toelaatbare Afwijking
1 rol	gemiddelde dikte	$e_{\text{eff}} +10\%$ -5%
	individuele meting	$e_{\text{eff}} \pm 10\%$
10 rol	gemiddelde dikte	$e_{\text{eff}} +10\%$ -0%

Voor de geprofileerde, gestructureerde, geruwde, ... folies¹ geldt dat de effectieve dikte (zie figuur 9) dient te voldoen aan de door de fabrikant opgegeven waarde, met in acht nemen van de minima aangegeven in de Richtlijn Geomembranen.

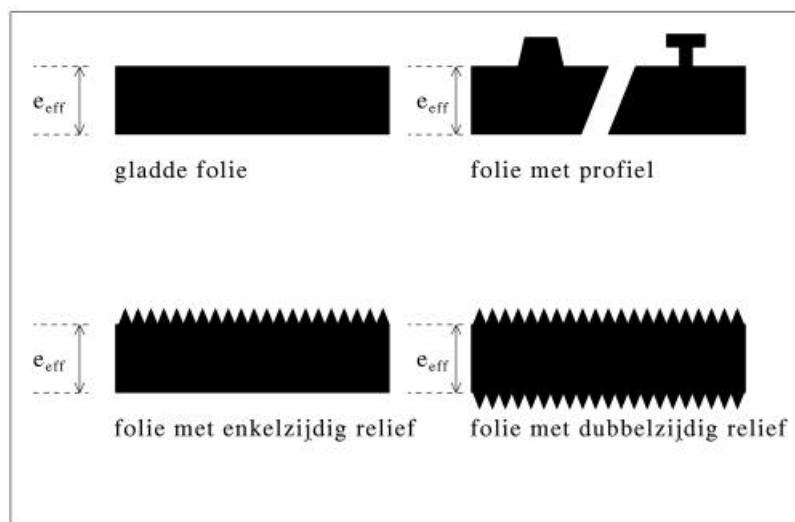


Fig. 9 Voorbeelden van folies met reliëf of profiel.

Breedte en lengte

De breedte en lengte zijn overeen te komen tussen leverancier en afnemer met inachtnemen van de in de Richtlijn Geomembranen voorgeschreven rolbreedte. De lengte moet minimaal de opgegeven lengte zijn. De toegelaten afwijking op de breedte is nominaal -150 mm.

Rechtheid en vlakheid van de kanten van de folie

De bepaling wordt uitgevoerd volgens par.7.3.2.3.

De afwijking van de rechtheid van de kanten van de folie mag niet groter zijn dan 50 mm op 10 m lengte.

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

5.2.3 Vouwbaarheid bij -20°C.

De proef wordt uitgevoerd volgens par.7.3.3. De folie moet tegen deze vouwproef bestand zijn.

¹ Folies met een zekere oppervlakte ruwheid (reliëf, structuur, textuur, etc.) worden toegepast ter verhoging van de wrijvingscoëfficiënt met de omringde grond. Een niet versterkt geomembraan is niet in staat grote afschuifkrachten te weerstaan. Grondverschuivingen langs een talud dienen te worden voorkomen.

5.2.4 Mechanische doorslagsterkte

Bij de beproeving volgens par.7.3.4 bij de valhoogten opgegeven in tabel 5.2 mag geen doorslag optreden.

5.2.5 Krimp door expositie bij verhoogde temperatuur

Na het uitvoeren van de beproeving volgens par.7.3.5 bij de temperaturen weergegeven in Tabel 5.3 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.

TABEL 5.2 Valhoogten voor diverse dikten folies.

Foliedikte (mm)	Valhoogte (mm)		
	Klasse a	Klasse b	Klasse c
2,0	1500	1250	1000

Klasse a Weinig kwetsbaar materiaal (HDPE)
 Klasse b Semi kwetsbaar materiaal (LLDPE, VLDPE, LDPE, HDPE-flex)
 Klasse c Kwetsbaar materiaal (versterkte folie, PVC-P)

TABEL 5.3 Proeftemperaturen voor krimpproef

Materialen	Beproevingstemperatuur (°C)
HDPE	100
VLDPE, LLDPE en LDPE	80
HDPE-flex	80
PVC-P	80

Voor niet genoemde materialen dient de proeftemperatuur in overleg met de fabrikant te worden vastgesteld.

5.2.6 Trekeigenschappen

a. *Materialen waarvan het trek-rek diagram een vloeigrens vertoont*

Bij beproeving volgens par.7.3.6.1 moet de vloeigrens bij 23 °C zijn als opgegeven door de fabrikant met een tolerantie van ±10%. Voor HDPE dient de vloeigrens tenminste 16,0 N/mm² te bedragen. De beproevingssnelheid is 100 mm/min.

b. *Materialen waarvan het trek-rek diagram geen uitgesproken vloeigrens vertoont.*

Bij beproeving volgens par.7.3.6.2 moet de treksterkte bij 23 °C zijn als opgegeven door de fabrikant met een tolerantie van -10%. Daarnaast moet voor een aantal materialen de gemiddelde treksterkte tenminste de waarde hebben als aangegeven in tabel 5.4, waarbij geen enkele waarde lager mag zijn dan het gemiddelde -15%.

TABEL 5.4 Eisen aan de trekeigenschappen.

Materiaal	Gemiddelde treksterkte	Rek bij breuk (%)
PVC-P type I	15,0 (N/mm ²)	200
PVC-P type II	18,0 (N/mm ²)	200
HDPE flex	...*)	400
LLDPE, VLDPE en LDPE	...*)	400
Versterkte folie type I	2000 (N/50 mm)	..**)
Versterkte folie type II	3900 (N/50 mm)	..**)

*) Afhankelijk van de samenstelling

***) Afhankelijk van aard en type van het weefsel

De materialen type II zijn bedoeld voor toepassingen waarbij een grotere sterkte vereist is.

5.2.7 Doorscheursterkte

Bij beproeven volgens par.7.3.7 moet met inacht nemen van het gestelde in par. 2.2.B.2, de doorscheursterkte van de materialen voldoen aan de opgave van de fabrikant, met een tolerantie van -10%. Daarnaast gelden voor een aantal materialen bovendien de minimum eisen weergegeven in Tabel 5.5.

TABEL 5.5 Eisen aan de doorscheursterkte.

Materiaal	Proefmethode	Scheursterkte
HDPE	$e_n \leq 1,5$ mm DIN 53363	200 N/mm
	$e_n > 1,5$ mm NEN 3056 gekerfd	100 N/mm
HDPE-flex	$e_n \leq 1,5$ mm DIN 53363	200 N/mm
	$e_n > 1,5$ mm NEN 3056 gekerfd	100 N/mm
LLDPE en LDPE	DIN 53363	200 N/mm
PVC-P	DIN 53363	100 N/mm
Versterkte materialen type I	DIN 53363	> 120 N
Versterkte materialen type II	DIN 53363	≥ 400 N

5.2.8. Trekslagsterkte

De trekslagsterkte van HDPE, HDPE-flex, LLDPE en LDPE-flex, bepaald volgens par.7.3.8, moet zijn als opgegeven door de fabrikant met een tolerantie van -10%. Bovendien geldt voor HDPE een minimum van 500 kJ/m².

5.2.9 Weerstand tegen spanningscorrosie

De weerstand tegen spanningscorrosie van HDPE, HDPE-flex, LLDPE en LDPE, bepaald volgens par.7.3.9, moet tenminste 1000 uur bedragen. De beproeving wordt bij de controle proeven uitgevoerd in een oplossing van 2 % Marlon A375 of een vergelijkbare waterige detergent oplossing.

5.2.10 Thermische stabiliteit

Bij een beproeving volgens par.7.3.10 is de voor polyolefinen vereiste inductietijd afhankelijk van de vereiste duurzaamheid. Voor materialen waarvan een grote duurzaamheid wordt vereist moet deze bij 200 °C ten minste 20 minuten bedragen. Voor materialen waarvan een matige duurzaamheid wordt vereist (zie ref.²³) moet deze ten minste 10 minuten bedragen.

Voor PVC-P en aanverwante materialen moet de inductietijd bij 200 °C voor niet in direct contact met de buitenlucht toegepaste materialen ten minste 20 minuten bedragen. Voor materialen die in direct contact met de buitenlucht worden toegepast bedraagt deze eis 40 minuten.

5.2.11 Carbonblack gehalte

Bij een beproeving volgens 7.3.12 moet het carbonblack gehalte voldoen aan de opgave van de fabrikant met een afwijking van $\pm 0,5$ % (m/m) absoluut.

5.2.12 Weekmakerverlies

Bij een beproeving volgens par.7.3.11 aan PVC-P mag het weekmakerverlies niet meer bedragen dan 1,0 %.

5.3 **EISEN AAN FABRIEKSMATIG VERVAARDIGDE VERBINDINGEN**

Aan lassen, die fabrieksmatig in de afdichting worden aangebracht, bijvoorbeeld bij het samenstellen van een brede baan uit twee smallere banen, worden de volgende controle eisen gesteld:

5.3.1 Uiterlijk

Het uiterlijk van de lassen moet in essentie regelmatig zijn; tekenen van haperen van het proces en andere onregelmatigheden mogen niet worden geconstateerd. De afmetingen van de lassen moeten voldoen aan de eisen vermeld in par.2.6.1 in figuur 1 en in par.2.9.1 van deel II. De overlappen dienen

in essentie evenwijdig te zijn aan de doorlopende folie; een ingesloten hoek van maximaal 10° is nog acceptabel.

5.3.2 Afpeelsterkte

Bij een beproeving overeenkomstig par.7.3.13. moet blijken dat over ten minste 80 % van de lasbreedte (zie figuur 20) hechting heeft plaats gevonden. Voor materialen zonder vloeipunt blijkt dit uit het feit dat geen van de vlakken de oppervlakte-structuur van het ongelaste materiaal meer toont. Voor semikristallijne materialen en materialen, die zich in de trekproef gedragen overeenkomstig figuur 2a blijkt dit wanneer op het afgepelde oppervlak duidelijk sporen van vloeit aanwezig zijn. Voor deze materialen geldt bovendien de eis dat het materiaal buiten de las vloeit of taai breekt, voordat 30 % van de las is afgepeld. De te meten afpeelsterkte moet per materiaal en per dikte voldoen aan de opgave van de fabrikant.

5.3.3 Trekslagsterkte

Bij een beproeving overeenkomstig par.7.3.8 moet voor PE materiaal de trekslagsterkte groter zijn dan 250 kJ/m². Voor versterkte materialen geldt geen eis.

5.3.4 Lekdichtheid

Wanneer de folie nadat de banen zijn verbonden direct wordt opgerold dient de lektheidsbeproeving op locatie te gebeuren. Wanneer dit niet geschiedt dient de folie in de fabriek te worden beproefd op lektheid. Deze beproeving moet worden uitgevoerd zoals aangegeven in deel II par.2.9.

6 UITVOERING KWALITEITSBORGINGSSYSTEEM

6.1 INLEIDING

De fabrikanten c.q. leveranciers van de toe te passen materialen moeten kunnen aantonen, dat de fabricage plaats vindt onder een systeem van kwaliteitsborging dat voldoet aan de eisen vermeld in par.5.2 van de Richtlijn Geomembranen.

Het kwaliteitsborgingssysteem heeft tot doel het verkrijgen van een folie, die voldoet aan de gestelde eisen. Zoals reeds in hoofdstuk 3 is aangegeven betekent dit dat het membraan en de daarin aangebrachte verbindingen waterdicht en gasdicht moeten zijn en dit ook op de langeduur moeten blijven. Voor dit doel worden in hoofdstuk 3 een aantal functionele eisen gesteld, waaraan de folie moet voldoen. In hoofdstuk 5 worden een aantal eisen genoemd om de lopende productie te controleren. In dit verband hebben dus de eisen een verschillend karakter. De in het kwaliteitsplan te stellen eisen kunnen worden ingedeeld in vier typen:

Type A: Wat betreft het langeduurgedrag moet ten genoegen van de certificerende instantie aan de hand van de resultaten van onderzoek door een onafhankelijk laboratorium worden aangetoond dat aan deze eis wordt voldaan. Dit kan ook geschieden aan de hand van resultaten van onderzoek van de grondstoffenleverancier, die door de certificerende instantie worden gevalideerd, of op grond van aantoonbare jarenlange gunstige ervaringen. Het een en ander heeft het karakter van een eenmalige grondstofkeuring (typekeuring), die veel tijd vergt. Wat betreft chemische resistentie en spanningscorrosie heeft de beproeving het karakter van een éénmalig introductieonderzoek voor een nieuwe fabrikant. Dit wordt ook uitgevoerd indien een reeds gecertificeerde fabrikant overgaat op een nieuwe grondstof, waarmee hij nog niet geproduceerd heeft.

Type B: Door de certificerende instantie wordt met een door haar te bepalen frequentie onderzocht of nog aan deze eisen wordt voldaan. Deze punten worden ook onderzocht wanneer een reeds gecertificeerde fabrikant met een erkende grondstof overgaat op een ander productieproces of een nieuw type machine in gebruik neemt.

Type C: Door de fabrikant in het kader van de interne kwaliteitsbewaking uit te voeren keuring, die zodanig veel tijd vergt, dat de aflevering van de folie hierdoor niet kan worden opgehouden.

Type D: Door de fabrikant in het kader van interne kwaliteitsbewaking uit te voeren keuring, waarvan het resultaat bepalend is voor het afleveren van de folie.

De certificerende instantie dient steekproefsgewijze de resultaten van de beproevingen onder C en D te verifiëren.

Het kwaliteitsborgingssysteem voor het vervaardigen van de folie van de fabrikant dient te zijn gebaseerd op NEN-ISO 9000²⁴ en de daarin van toepassing zijnde normen. Het moet zo zijn opgezet dat het is in te passen in een certificatiesysteem. De volgende aspecten dienen te zijn geformuleerd:

1. Verantwoordelijke partijen en de taak van elk der partijen in het kwaliteitssysteem.
2. De uitvoering van de kwaliteitszorg voor het product vastgelegd in een kwaliteitsplan.

3. Een volledige beschrijving van het productieproces met al zijn aspecten zoals voorbehandelingen grondstof, machine-instellingen en hun toleranties, procedures voor hergebruik eigen productieafval, opslag grondstoffen en gereed product etc.

Het kwaliteitsplan dient de volgende aspecten te omvatten:

- a. De ingangscntrole van de grondstoffen voor de te vervaardigen afdichtingsfolie volgens een *keuringsplan grondstoffen*;
- b. De controles tijdens de produktie (machine-instellingen, visuele controles etc.);
- c. Na de produktie van de folie in de vorm van rollen, het op deugdelijke, duidelijke en zichtbare wijze aanbrenge van een duurzame codering op iedere rol; Uit de code moeten de produktie-datum, de machine en eventuele bijzonderheden zijn te herleiden.
- d. De kwaliteitscontrole op de fabriek volgens een *keuringsplan afdichtingsfolie*;
- e. De kwaliteitscontrole op de fabriek van de op de fabriek vervaardigde verbindingen van afdichtingsfolies volgens een *keuringsplan verbindingen*;
- f. De archivering van de resultaten van alle genoemde controles, zowel op fabricageomstandigheden als resultaten van controlemetingen; Deze gegevens moeten door de controleur van een certificerende instelling kunnen worden geraadpleegd. De controlegegevens van de fabriek moeten steekproefsgewijs door hem in het kader van een certificatieregeling worden gecontroleerd. De controleur is uiteraard gehouden de verkregen informatie vertrouwelijk te behandelen.

Bij de in ontvangstname van de rollen op de toekomstige voorziening moet inspectie op transport-beschadigingen plaatsvinden door de afnemer. Beschadigingen moeten worden opgenomen in een door de beheerder van de stortplaats bij te houden logboek.

6.2 KEURINGSPLAN GRONDSTOFFEN

Het keuringsplan grondstoffen dient door de fabrikant van de afdichtingsfolie worden opgesteld. Het moet omvatten:

- a. de te onderzoeken eigenschappen
- b. de normen of interne keuringsmethoden, volgens welke deze worden vastgesteld.
- c. de frequentie waarmee de bepalingen worden uitgevoerd, rekening houdend met wisseling van grondstoffen.

In een door de fabrikant op te stellen "kwaliteitsplan grondstoffen" worden vastgelegd de streefwaarden en de toleranties daarop die als kwaliteitseisen worden gehanteerd. Tevens dient te worden vastgelegd voor welke eigenschap genoeg kan worden genomen met een certificaat van de grondstofleverancier, uitgegeven voor de onderhavige batch grondstof.

Zowel het keuringsplan als het kwaliteitsplan grondstoffen wordt aan de keurende instantie voorgelegd. Wanneer deze plannen naar het oordeel van deze instantie (en van haar adviseurs) onvoldoende volledig zijn, zullen deze in onderling overleg moeten worden bijgesteld. Voldoen de plannen wel, dan voert de fabrikant van de folie de grondstofcontrole op die wijze uit. De fabrikant beheert een logboek met de resultaten van de grondstofkeuring.

De aan de grondstoffen te onderzoeken eigenschappen zijn niet in het algemeen aan te geven omdat deze volkomen afhangen van het type grondstof waarvan wordt uitgegaan (soms zijn dit meerdere grondstoffen, zoals bij weegemaakt PVC) en ook van de aard van het proces volgens welke de afdichtingsfolie wordt vervaardigd.

Voor PE zal het keuringsplan in ieder geval moeten omvatten de bepaling van *soortelijke massa*, *smeltindex*, *carbon black gehalte* en *vochtgehalte*.

Wanneer bij de productie van de afdichtingsfolie gebruik wordt gemaakt van een masterbatch voor het toevoegen van bijvoorbeeld carbonblack (en stabilisator) aan de smelt, dient de levering daarvan te geschieden onder een certificaat, geldig voor de desbetreffende partij, waarin de werkelijke samenstelling van die partij masterbatch wordt aangegeven.

In verband met de in het keuringsplan afdichtingsfolie vereiste keuringen per grondstofbatch moet in het keuringsplan grondstoffen duidelijk worden omschreven wat onder een grondstofbatch dient te worden verstaan.

Alle veranderingen in het kwaliteitsplan kunnen slechts worden doorgevoerd na toestemming van de certificerende instantie.

6.3 KEURINGSPLAN AFDICHTINGSFOLIE

Het keuringsplan afdichtingsfolie omvat de keuring op een aantal eigenschappen. Daarbij wordt er vanuit gegaan, dat de folie wordt vervaardigd met volautomatische apparatuur, waardoor de fabricage volledig beheerst kan plaats vinden. In Tabel 6.1 is aangegeven, wat het karakter van de gestelde eis is en wat tot de taak van de externe controle behoort, respectievelijk wat tot de interne kwaliteitsbewaking van de foliefabrikant.

Voor bijzonderheden betreffende de methoden wordt verwezen naar de in hoofdstuk 3 en 5 genoemde normen en de beproevingsmethoden, genoemd in hoofdstuk 7.

De streefwaarden voor de eisen C en D en de toleranties hierop worden vastgelegd in een kwaliteitsplan afdichtingsfolie, op te stellen door de fabrikant uitgaande van de in hoofdstuk 3 en hoofdstuk 5 weergegeven eisen. Dit kwaliteitsplan moet door de certificerende instantie worden goedgekeurd.

6.4 KEURINGSPLAN VERBINDINGEN

Het keuringsplan verbindingen omvat de verbindingen die op de fabriek tot stand komen. Daarbij is er vanuit gegaan dat de verbindingen worden vervaardigd in een (semi)continue volautomatisch proces. In dat geval omvat het keuringsplan, afhankelijk van de aard van het te verbinden materiaal, de in tabel 6.2 genoemde keuringen.

6.5 CERTIFICATIE

Materialen voorzien van een Certificaat verkregen voor de betreffende toepassing op basis van een beoordelingsrichtlijn van een door de Raad van Accreditatie erkende certificatie-instelling worden geacht te zijn vervaardigd onder het vereiste kwaliteitsborgingssysteem en te voldoen aan de eisen gesteld in

deze protocollen.

TABEL 6.1 Aard en beproevingsfrequentie van eigenschappen.

Eis	Referentie in protocol	Aard van de eis	Frequentie
Spleetdruk	par.3.4.2.C.1	A	éénmalig
Langeduursterkte	par.3.4.2.D.1	A	éénmalig
Chemische resistentie (alle agentia)	par.3.4.2.D.2	A	éénmalig
Spanningscorrosie (alle agentia)	par.3.4.2.D.3	A	éénmalig
Biologische invloeden	par.3.4.2.D.5	A	éénmalig
Chemische resistentie (tabel 3.4)	par.3.4.2.D.2	B	1xp.2 jaar
UV-resistentie	par.3.4.2.D.4	B	1xp.5 jaar
Uitloging	par.3.4.2.F.1	B	1xp.5 jaar
Weekmakerverlies	par.5.2.12	B	1xp.jaar
Lasbaarheid *)	par.3.4.2.A.2	C	1xp.batch*)
Thermische stabiliteit	par.5.2.10	C	1xp.batch
Carbonblackgehalte	par.5.2.11	C	1xp.batch
Vouwbaarheid -20°C/-10°C	par.5.2.3	C	1xp.batch
Mechanische doorslagsterkte	par.5.2.4	C	1xp.batch
Spanningscorrosie (detergent)	par.5.2.9	C	1xp.batch
Uiterlijk	par.5.2.1	D	continu
Afmetingen breedte	par.5.2.2	D	1xp.dag
Afmetingen dikte	par.5.2.2	D	continu
Afmetingen rechtheid/vlakheid	par.5.2.2	D	1xp.dag
Afmetingen lengte	par.5.2.2	D	continu
Krimproef (6 uur)	par.5.2.5	D	1xp.dag
Krimproef (1 uur)	par.5.2.5	D	1xp.rol
Trekeigenschappen	par.5.2.6	D	1xp.dag
Doorscheursterkte	par.5.2.7	D	1xp.dag
Trekslagsterkte	par.5.2.8	D	1xp.dag

*) Alleen noodzakelijk wanneer de folie is vervaardigd van recyclebaar materiaal, in andere gevallen alleen bij het toelatingsonderzoek.

N.B. De in de tabel aangegeven frequenties van keuren zijn richtwaarden. Het certificerende instituut kan naar aanleiding van de toegepaste grondstof en bij de fabrikant verkregen resultaten deze frequentie aanpassen. Per ploeg (8 uur) dient tenminste één van de mechanische beproevingen (5.2.6 t/m 5.2.8) te worden uitgevoerd. Voor het vaststellen van de lengte dient gebruik gemaakt te worden van een op de produktiemachine aanwezig telwerk.

TABEL 6.2 Beproeving van lassen.

	Materiaal met Vloeigrens	Materiaal zonder vloeigrens	Frequentie van beproeven
trekslagproef (5.3.3)	*	-	1x per 4 uur
afpelproef (5.3.2)	*	*	1x per 4 uur

* uitvoeren

7 BEPROEVINGSMETHODEN

7.1 INLEIDING

Alle proeven worden, tenzij uit het voorschrift duidelijk anders blijkt, bij $23 \pm 1^\circ\text{C}$ en $50 \pm 5\%$ RV uitgevoerd in 5-voud en het te rapporteren resultaat is het rekenkundig gemiddelde van de individuele waarnemingen. Zowel dit gemiddelde als tenminste 4 van de 5 waarnemingen moeten dan voldoen aan de gestelde eis. De proefstukken moeten vóór de beproeving tenminste 16 uur bij de beproevings-temperatuur worden geconditioneerd.

7.2 BEPROEVING OP FUNCTIONELE EISEN

Hieronder zijn opgenomen de keuringsmethoden voor proeven, die niet bij de controle worden uitgevoerd. Tenzij nadrukkelijk anders is vermeld in het proefvoorschrift worden de beproevingen uitgevoerd met proefstukken genomen uit 2 mm dikke folie, vervaardigd volgens de voor die folie normale wijze van fabriceren.

7.2.1 Spleetdrukproef

De beproeving moet worden uitgevoerd volgens DIN 16726, par.5.11, in een apparaat weergegeven in figuur 8. Wanneer de folie gecacheerd is moet de cachering aan de spleetzijde liggen. De beproeving wordt uitgevoerd met water. De proefdruk moet in stappen van 1 bar per 10 minuten worden opgevoerd tot 6,0 bar. De druk wordt gedurende 72 uur gehandhaafd. De folie mag niet lek worden.

7.2.2 Bepaling langeduur thermische veroudering

Proefstukken worden onderworpen aan de volgende beproeving:

1. Onderdompelen in kokend demiwater gedurende 168 uur; Het water wordt elke 48 uur ververs.
2. Vervolgens veroudering in een oven gedurende 1000 uur met externe luchtcirculatie bij een temperatuur van $100 \pm 2^\circ\text{C}$;
3. Van onverouderde en van de verouderde proefstukken wordt de trekslagsterkte bepaald volgens par 7.3.8. Van het verouderde en van het onverouderde materiaal wordt tevens de smeltindex bepaald volgens ISO 1133²⁵, omstandigheid 4 (190°C ; 2,16 kg)

7.2.3 Bepaling van de chemische resistentie

De beproeving wordt uitgevoerd volgens ISO 62, waarbij het medium in de plaats van water komt. In DIN 53495 zijn een aantal punten van ISO 62 nader uitgewerkt en toegelicht.

De beproeving berust op het onderdompelen van proefstukken voor de trekproef in het te beproeven medium gedurende de voorgeschreven tijd. Van het materiaal wordt de massatoename als gevolg van

het onderdempelen gemeten. Tevens worden de trekeigenschappen van het materiaal gemeten en de resultaten vergeleken met de resultaten verkregen met niet beproefd materiaal.

De wijze van beproeven is in dit geval:

Dikte proefmateriaal	: 2 mm (zie par.3.4.2.A1)*
Beproevingduur	: 8 weken
Proeftemperatuur	: 30±1°C

De massatoename wordt bepaald aan rechthoekige proefstukken, 80x15 mm. De trekeigenschappen en de rek bij breuk worden bepaald volgens par.7.3.6, het proefstuk is echter schaal 1:2 ten opzichte van figuur 13. De proefstukken moeten, ondergedompeld in het proefmedium, gedurende 16 uur conditioneren bij 23 ± 1 °C en vervolgens direct nadat zij uit de proefvloeistof zijn genomen na droogdeppen worden beproefd.

De proefvloeistoffen zijn weergegeven in de tabellen 3.4, 3.5 en 3.6. De proefvloeistoffen moeten na 4 weken worden ververst. De eisen zijn weergegeven in tabel 3.3.

Wanneer voor toepassing III wordt beproefd dient er zorg voor te worden gedragen, dat laag geconcentreerde oplossingen op concentratie worden gehouden. Dit kan geschieden door de proefstukken met een groot volume vloeistof te beproeven of door de vloeistof zeer regelmatig, bijvoorbeeld dagelijks, te verversen. In geval van laag geconcentreerde verzadigde oplossingen van een vaste stof of een vloeistof die zwaarder is dan water verdient het aanbeveling te beproeven met deze stof op de bodem van het proefvat terwijl uiterst voorzichtig wordt geroerd.

7.2.4 Bepaling van de uitloging door water

Monsters voor de vouwproef (zie par 7.3.3) worden gedurende 1000 uur geëxposeerd in demi-water van 50 °C, conform bijlage A bij KIWA BRL 519²⁶. Na afloop van de beproeving moet de folie voldoen aan de eis voor de weerstand tegen vouwen bij -20 °C (zie par.5.2.3 en 7.2.10). Het water dient elke 250 uur te worden ververst.

7.2.5 Bepaling van de UV-resistentie

De beproeving op UV-resistentie berust op het onderwerpen van het materiaal aan een kunstmatige bestraling in het laboratorium, waarna afhankelijk van het materiaal (zie tabellen 3.7 en 3.8) de achteruitgang in treksterkte of trekslagsterkte van het materiaal ten opzichte van onbestraald materiaal wordt bepaald. De beproeving wordt uitgevoerd op materiaal met een nominale dikte van 2 mm.*

De belichtingsproef wordt uitgevoerd volgens KIWA BRL 519, A2.12, totdat de vereiste hoeveelheid energie is ingestraald (zie par.3.4.2.D4). De eisen zijn weergegeven in tabel 3.7 en tabel 3.8.

*. Voor speciale toepassingen de daarvoor voorgeschreven minimale dikte.

7.2.6 Bepaling van de weerstand tegen microbiologische invloeden

De bepaling omvat het uitvoeren van begraafproeven in een biologisch actief milieu gevolgd door het uitvoeren van mechanische beproevingen. De beproeving dient te worden uitgevoerd volgens par.4.9 der BPG Kunststoffbahnen²⁷, waarbij de massaverandering en de verandering van de treksterkte worden gemeten. De massaverandering mag maximaal 10 % bedragen, de verandering in treksterkte c.q. vloeispanning en rek bij breuk niet meer dan 25 %.

7.2.7 Bepaling van de weerstand tegen worteldoorgroei

De bepaling omvat het uitvoeren van proeven met planten, een en ander zoals omschreven in de BPG Kunststoffbahnen par.4.10. De mate van worteldoorgroei wordt bepaald. De resultaten zijn alleen geldig voor folie met minimaal de dikte van de folie die werd beproefd.

7.2.8 Bepaling van weerstand tegen diervraat

De bepaling omvat dierproeven, waarbij de dieren gescheiden worden van voedsel door de desbetreffende folie, het een en ander zoals omschreven in de BPG Kunststoffbahnen par.4.8. De mate van vraat wordt bepaald. De gevonden resultaten zijn alleen geldig voor folie met minimaal de dikte van de folie die werd beproefd.

7.2.9 Bepaling van de permeatie

Voor stortplaatsen worden nog geen eisen gesteld aan de permeatie van verontreinigende stoffen door de kunststof folies. Bovendien wordt het transport van deze stoffen naar de bodem niet uitsluitend door de kunststof folie bepaald maar door de combinatie van afdichtingslagen en andere getroffen voorzieningen. Bij toepassingen, waar alleen een kunststof folie wordt gebruikt, zal bij langdurige blootstelling aan organische stoffen veelal sprake zijn van permeatie.

De permeatie is het product van de diffusiecoëfficiënt, D , en de oplosbaarheid, c_{opl} . De oplosbaarheid is de evenwichtsconcentratie van de betreffende stof in de kunststof matrix. De permeatie van een enkelvoudige vloeistof kan worden bepaald uit de absorptiecurve. Een absorptiecurve geeft de gewichtstoename, Δm , van drie monsters uit de kunststof folie door opname van de enkelvoudige stof als functie van de expositietijd. De drie monsters van de folie met een oppervlak van $20 \times 20 \text{ mm}^2$ worden hiertoe in de vloeistof ondergedompeld. Na verschillende tijden worden de monsters uit de vloeistof gehaald, ontdaan van aanhangende vloeistofdruppels en wordt de gewichtstoename bepaald. Op deze wijze wordt een curve als getoond in figuur 10 verkregen.

Uit de geïnterpoleerde tijd, $t_{1/2}$ waarop de gewichtstoename Δm gelijk is aan $1/n$ kan de diffusiecoëfficiënt worden berekend volgens:

$$D = \frac{P}{64} \frac{e^2}{t_{1/2}}$$

waarbij e de dikte van de folie is.

Merk op dat naarmate de diffusiecoëfficiënt kleiner en de foliedikte groter wordt de benodigde tijd voor

deze meting toeneemt.

De oplosbaarheid wordt gegeven door:

$$c_{opl} = \frac{m_{\infty}}{V_{monster} + \frac{m_{\infty}}{\rho_{vloeistof}}} \approx \frac{m_{\infty}}{V_{monster}}$$

waarbij $V_{monster}$ het volume van het foliemonster is en $\rho_{vloeistof}$ de dichtheid van de enkelvoudige vloeistof is.

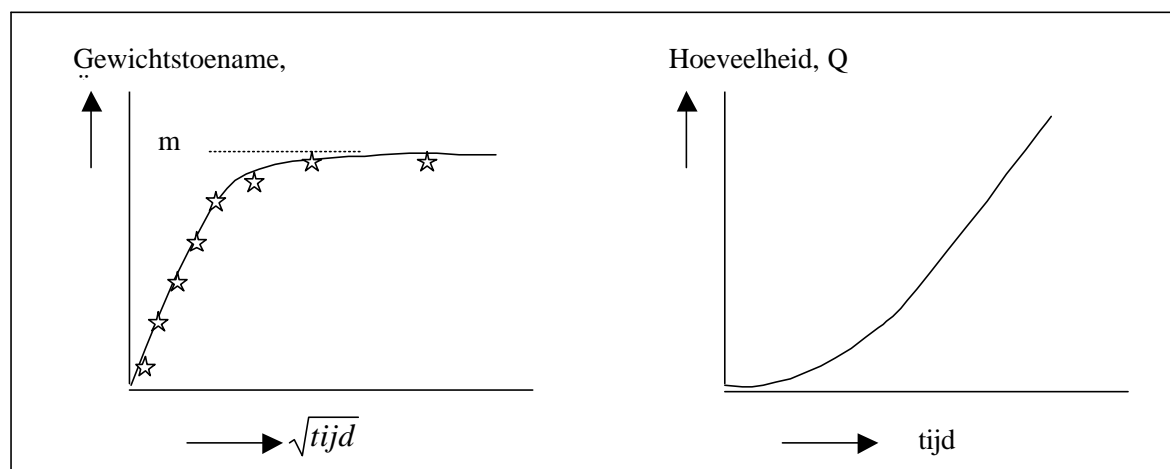


Fig. 10 Verloop van gewichtstoename, Δm , in absorptiemeting.

Fig. 11 Verloop van hoeveelheid, Q, die wordt doorgelaten.

De hoeveelheid Q, die per oppervlakte, A, en per tijdseenheid, t, permeëert, wordt bij een stationair transport gegeven door:

$$Q = \frac{Dc_{opl}}{d} At$$

waarbij A het oppervlak is en t de tijd.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat het enige tijd duurt voordat het stationaire transport wordt bereikt (zie figuur 11).

Er bestaan ook experimentele meetcellen waarbij de permeatie direct wordt gemeten. In deze cellen wordt de folie aan de ene zijde blootgesteld aan de te onderzoeken stoffen en aan de andere zijde aan lucht of schoon water. De toename van de te onderzoeken stoffen aan de schone zijde dient te worden bepaald met een fysisch chemische methode (bijvoorbeeld gaschromatografie).

7.2.10 Bepaling van de extractie door water

De beproeving wordt uitgevoerd volgens ISO 62 (DIN 53495) aan twee proefstukken van 80x15 mm. De extractie van stoffen uit de folie wordt bepaald door de folie, na voordrogen onder voorgeschreven condities tot constante massa, gedurende 1000 uur onder te dompelen in demi-water van 50 ± 1 °C. Het water dient elke 250 uur te worden ververs. Na uitnemen uit de vloeistof wordt de folie opnieuw gedroogd tot constante massa. Deze massa wordt vergeleken met de massa van het proefstuk vóór de onderdompeling. De gewichtsvermindering na onderdompeling is de uitloging. De eis is gegeven in par.3.4.2.F.1. (N.B. De beproeving kan worden gecombineerd met de beproeving van par.7.2.4, waarbij de proefstukken voor de vouwproef niet worden gedroogd!)

7.3 **BEPROEVING OP CONTROLE EISEN**

7.3.1 Beoordeling van het uiterlijk

De beoordeling van het uiterlijk geschiedt met het ongewapende oog, zoals omschreven in NEN 3056, par.2. Een defect wordt geacht de functionaliteit van de afdichting niet ongunstig te beïnvloeden wanneer een proefstuk met daarin het te beoordelen defect voldoet aan de gestelde eis voor de trekslagsterkte (zie par.5.2.8) of de treksterkte (PVC-P, CPE en versterkte materialen, par.5.2.6)

7.3.2 Bepaling van de afmetingen

7.3.2.1 *Dikte*

De bepaling van de dikte wordt uitgevoerd volgens NEN 3056, artikel 7.2. Hierbij zijn de afmetingen van de meetvoet en de meetdruk voorgeschreven.

7.3.2.2 *Breedte en lengte*

De bepaling van de breedte is conform NEN 3056, artikel 4. De bepaling van de lengte geschiedt normalerwijze door een telwerk aan de machine. In geval van dispuut dient de bepaling te worden uitgevoerd volgens NEN 3056, artikel 3.

7.3.2.3 *Rechtheid en vlakheid van de kanten van de folie*

De bepaling wordt uitgevoerd volgens DIN 16726, artikel 5.2.

7.3.3 Bepaling van de vouwbaarheid bij lage temperatuur

De bepaling van de vouwbaarheid bij lage temperatuur wordt uitgevoerd volgens DIN 53361²⁸, op folies met een nominale dikte van ≤ 3 mm. De proef wordt in beide richtingen uitgevoerd. De proef bestaat uit het vouwen van stroken folie, die zijn gekoeld tot de voorgeschreven temperatuur, in een vouwapparaat zoals afgebeeld in figuur 12.

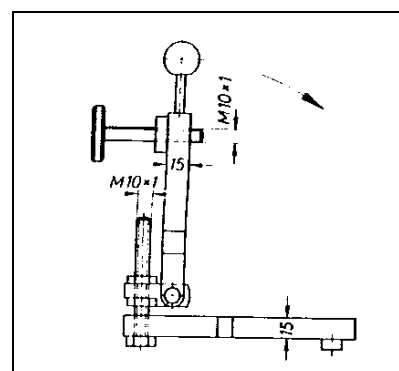


Fig.12 Vouwapparaat.

7.3.4 Bepaling van de mechanische doorslagsterkte

Bij een proef volgens DIN 16726, art. 5.12, die bestaat uit het laten vallen van een lichaam waarvan het uiteinde de vorm van een kogel heeft met een diameter van 12,7 mm en met een massa van 500 gram, mag voor een 2 mm dikke kunststof folie bij de valhoogten weergegeven in tabel 5.2 geen doorslag optreden. De valhoogten voor andere foliedikten kunnen worden beproefd uitgaande van door de foliefabrikant gedeclareerde waarden. De valhoogte waarbij juist geen doorslag meer optreedt wordt bepaald.

7.3.5 Bepaling van de krimp bij verhoogde temperatuur

De bepaling wordt uitgevoerd volgens DIN 16726, artikel 5.13.1 bij de temperaturen aangegeven in tabel 5.3. De proef omvat het meten van de afmetingen van een proefstuk vóór en na het blootstellen aan verhoogde temperatuur.

7.3.6 Bepaling van de trekeigenschappen

Uit de folie worden stroken gesneden waaruit haltervormige proefstukken door ponsen worden vervaardigd. De diktemeting wordt uitgevoerd volgens par.7.3.2.1, de breedte wordt gemeten met een schuifmaat of met een micrometer met een meetvlak waarvan de diameter tenminste gelijk is aan de dikte van de folie.

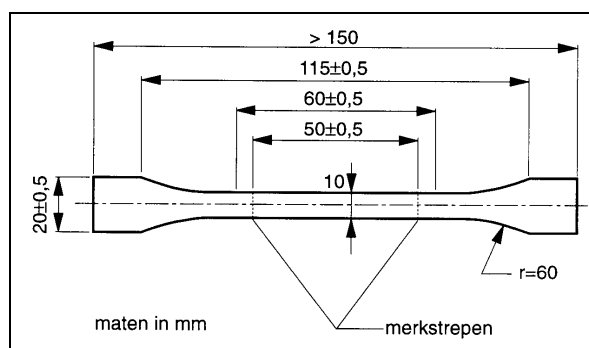


Fig.13 Trekhalter.

7.3.6.1 *Materialen, waarvan het trek-rek diagram een vloeigrens vertoont*

De bepaling wordt uitgevoerd volgens EN-ISO 527²⁹ aan halters met afmetingen zoals weergegeven in figuur13. De beproeving berust op het deformerende van dit proefstuk terwijl de daarvoor benodigde kracht wordt geregistreerd. De deformatiesnelheid is afhankelijk van het materiaal en is weergegeven in tabel 7.1. De vloeikracht en de rek bij breuk worden uit het trek-rek diagram afgelezen. (zie figuur14). De vloeispanning wordt berekend met de gemeten gemiddelde breedte van het prismatisch gedeelte en de minimale gemeten dikte.

Bij het beproeven van lassen in dit soort materialen wordt eveneens gebruik gemaakt van het type halter weergegeven in figuur13, waarbij het proefstuk zo uit de folie wordt genomen, dat de las zich in het midden van het prismatisch gedeelte bevindt.

N.B. Wanneer de lasbreedte groter is dan de lengte van het prismatisch deel van het proefstuk weergegeven in figuur 13, kan gebruik worden gemaakt van een gelijksoortig proefstuk, waarvan het middendeel is verlengd. In dat geval dienen de proeven aan het ongelaste materiaal, noodzakelijk als basis voor beoordeling van de laskwaliteit (zie par.5.3.1), eveneens met deze halter te worden uitgevoerd. De vloeispanning wordt bepaald, berekend met de gemeten gemiddelde breedte en de gemiddelde dikte van de dunste van de twee folies naast de las. Tijdens de beproeving moet het tweede vloeipunt (zie figuur 14) worden gepasseerd. Daarna kan de beproeving worden afgebroken.

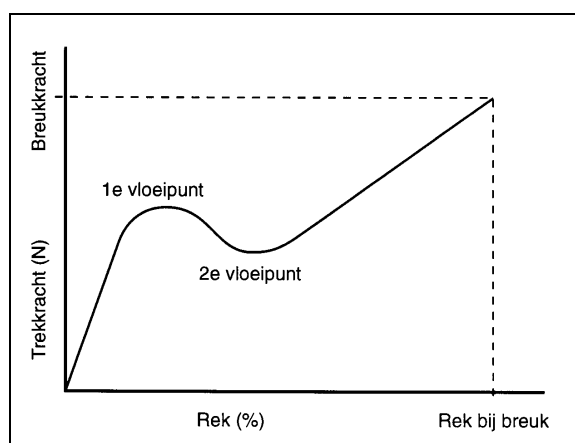


Fig.14 Trekkromme met vloeipunt.

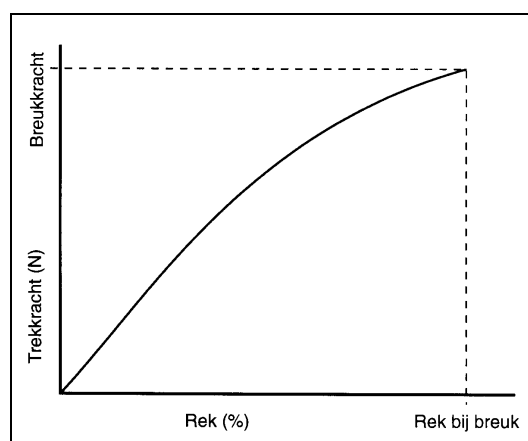


Fig.15 Trekkromme zonder vloeipunt.

7.3.6.2 Materialen, waarvan het trek-rek diagram geen vloeigrens vertoont

De bepaling wordt in het geval van materialen $\leq 1,5$ mm uitgevoerd volgens ISO 527 aan stroken van 25x200 mm, waarbij de inklemafstand 100 mm bedraagt. De beproeving berust op het deformeren van dit proefstuk terwijl de daarvoor benodigde kracht wordt geregistreerd. De deformatiesnelheid is afhankelijk van het materiaal, zij is weergegeven in tabel 7.1. De breukkracht en de rek bij breuk worden uit het trek-rek diagram afgelezen (zie figuur15). De breuksterkte wordt berekend met de gemeten breedte van het proefstuk en de minimale dikte.

Materialen met een dikte $>1,5$ mm worden beproefd met de haltervormige proefstukken volgens figuur 16.

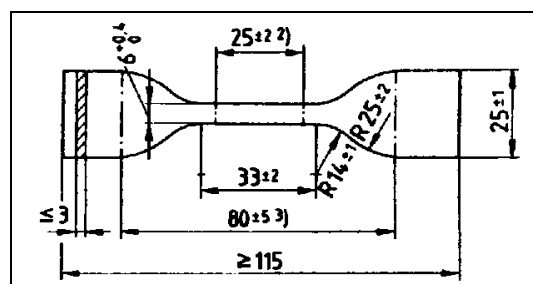


Fig.16 Trekhalter; afmetingen in mm.

Bij het beproeven van lassen in dit soort materialen wordt gebruik gemaakt van proefstroken met een breedte van 50 mm. De lengte van de proefstroken bedraagt tenminste 200 mm, de inklemafstand bedraagt 100 mm + de lasbreedte. De breuksterkte wordt berekend met de gemeten breedte van het proefstuk en de gemiddelde dikte naast de las van de dunste folie.

7.3.6.3 Bepaling trekeigenschappen in verband met chemische resistentieproeven

Proefstukken die zijn onderworpen aan een chemische resistentie beproeving moeten worden beproefd volgens 7.3.6.1 of 7.3.6.2., waarbij ook het blanco materiaal wordt beproefd met proefstukken schaal 1:2. De proefstukken moeten met hun lengterichting in de zwakste richting willekeurig uit één monster folie worden genomen. De beproeving van het blanco materiaal wordt in 10-voud uitgevoerd, de

beproeving van de ondergedompelde proefstukken in 5-voud. Daar de meting de relatieve verandering van het materiaal bepaalt, kan worden volstaan met het bepalen van de verandering in vloeikracht of breukkracht en rek bij breuk.

TABEL 7.1 Beproevingssnelheid trekproef.

Materiaal	Beproevingssnelheid mm/min
HDPE	100
LDPE-flex	500
VLDPE	100
LLDPE	100
HDPE-flex	200
PVC-P	500
versterkte folies	100

7.3.7 Bepaling van de doorscheursterkte

De beproeving wordt afhankelijk van de aard van het materiaal doorgevoerd volgen NEN 3056, gekerfd, of DIN 53363. De beproeving omvat het meten van de kracht nodig om een in een proefstuk aangebrachte scheur te laten doorlopen. In tabel 5.5 is aangegeven welke methode in een bepaald geval moet worden gebruikt. De methoden verschillen voornamelijk in de vorm van het proefstuk. De proefstukken zijn afgebeeld in de figuren 17 en 18. De beproevingssnelheid bedraagt 100 mm/min.

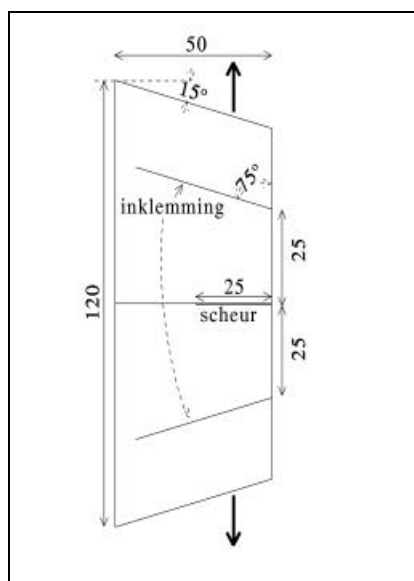


Fig.17 Trapezium proefstuk.

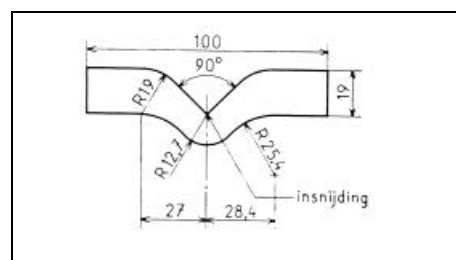


Fig.18 Proefstuk volgens Graves.

7.3.8 Bepaling van de trekslagsterkte

De beproeving wordt uitgevoerd overeenkomstig DIN-EN-ISO 8256, het proefstuk is echter overeenkomstig figuur13. De energieinhoud van de hamer moet 50 Joule (circa 500 kgcm) zijn. De beproeving omvat het uitvoeren van een (trek)slagbelasting op een haltervormig proefstuk, dat in de voet van een slingerslagtoestel is ingeklemd. De energie, nodig om het proefstuk te breken, wordt bepaald.

N.B. Het proefstuk wijkt af van het proefstuk voorgeschreven in DIN-EN-ISO 8256 om de mogelijkheid te scheppen ongelast en gelast materiaal met hetzelfde proefstuk te beproeven. De commercieel verkrijgbare apparatuur moet hiervoor worden aangepast. Daar de beproeving met het oorspronkelijke proefstuk (DIN-EN-ISO 8256, type A.) strenger is dan met het nu gekozen proefstuk kan, met handhaven van de in par.5.2.8. gestelde eisen, ongelast materiaal ook worden beproefd met dat proefstuk.

7.3.9 Bepaling van de weerstand tegen spanningscorrosie

De beproeving omvat het opslaan van gekerfde proefstukken, vervaardigd uit de te onderzoeken folie, in gebogen toestand in het te onderzoeken medium gedurende de voorgeschreven tijd. In figuur19 is aangegeven, hoe dit kan worden uitgevoerd. Geconstateerd wordt of en zo ja na hoeveel tijd de proefstukken scheuren vertonen of breken.

De beproeving wordt uitgevoerd volgens ASTM D 1693, conditie B, met de media voorgeschreven in par.3.4.2.D.3 en 5.2.9. Een proefserie bestaat uit 10 proefstukjes, waarvan er 5 met de bovenzijde op trek worden belast en 5 met de onderzijde. De kerf wordt aangebracht in de zijde die op trek wordt belast. De proefstukken worden met hun lengterichting loodrecht op de eventueel bestaande oriëntatie uit de folie genomen.

In afwijking van de norm is de dikte van de proefstukken gelijk aan de dikte van de folie, met een minimum dikte van 1,75 mm. De kerfdiepte moet dan voldoen aan:

$$a = 0,20 d$$

waarin

a = kerfdiepte (mm)

d = dikte proefstuk, afgerond op 0,1 mm

In het geval dat materialen dikker dan 2 mm niet aan de eis voldoen, kan de proef worden herhaald met proefstukken, die door schaven of frezen op 2,0 mm dikte zijn gebracht, waarbij om en om de boven- of onderbuitenhuid gespaard wordt. Bij de beproeving wordt dan de buitenhuid op trek belast.

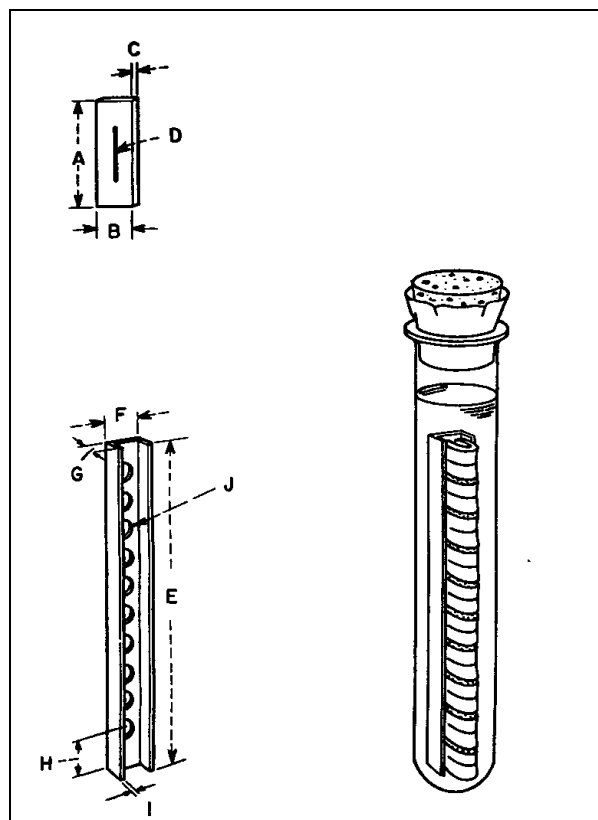


Fig. 19 Bell Telephone test.

7.3.10 Bepaling van de thermische stabiliteit

7.3.10.1 Polyolefinen en aanverwante materialen

De beproeving berust op ASTM-D 3895³⁰. Van een cirkelvormig proefstuk met een diameter van circa 4 mm en een dikte tussen 0,5 en 1,5 mm wordt in een DSC apparaat (calorimeter) de tijd gemeten die verstrijkt totdat een exotherme piek optreedt bij opslag in zuiver zuurstof bij een temperatuur van 200 °C. Dit noemt men de inductietijd.

De beproeving wordt in 2-voud als volgt uitgevoerd:

Het voorgeschreven proefstukje wordt in de meetcel gebracht. De cel wordt gedurende 10 minuten doorgespoeld met zuurstof (ca 25 ml/min). Terwijl de zuurstofstroom voortduurt wordt de cel snel (binnen 3 minuten) opgewarmd tot 200 °C. De tijd die verstrijkt tot het optreden van een exotherme piek van tenminste 2 mWatt per milligram wordt opgegeven als de oxidatieve inductietijd.

N.B. Het langer dan 1 uur voortzetten van de beproeving is zinloos, daar eventueel gevonden verschillen tussen materialen geen praktische betekenis hebben

7.3.10.2 PVC-P en aanverwante materialen

De beproeving van PVC-P en aanverwante, chloor bevattende, materialen berust op het snel opwarmen van het materiaal tot 200 °C in een stikstofstroom, waarna de temperatuur gehandhaafd blijft en de stikstofstroom door de meetcel van een pH meter wordt geleid. De tijd die verstrijkt totdat de pH in de cel is gedaald tot 3,9 noemt men de inductietijd voor zoutzuur afsplitsing.

De beproeving wordt conform DIN 53381³¹ Teil 1 uitgevoerd in 2-voud, onder de volgende omstandigheden:

1. methode : C;
2. dragergas : stikstof;
3. temperatuur : 200°C
4. massa monster : (1000±50) mg

N.B. Het langer dan 1,5 uur voorzetten van de beproeving is zinloos, daar eventueel dan gevonden verschillen tussen materialen geen praktische betekenis hebben.

7.3.11 Bepaling van het weekmakerverlies

Deze bepaling omvat het opslaan van het materiaal in een afgesloten ruimte in nauw contact met geactiveerde houtskool bij 100 °C en het meten van een eventueel optredend massaverlies. De beproeving wordt uitgevoerd overeenkomstig NEN 20176³², methode B, in 3-voud.

7.3.12 Bepaling van het carbonblack gehalte

De bepaling wordt in principe met thermogravimetrische analyseapparatuur als volgt uitgevoerd:

Het materiaal wordt in een stikstofstroom verhit bij oplopende temperatuur, totdat de kunststof is gepyroliseerd, maar het carbonblack nog niet. Bij die temperatuur wordt overgeschakeld op zuurstof en wordt het carbonblack verbrand. De beproeving is schematisch weergegeven in figuur 20. De bepaling dient te worden uitgevoerd volgens NEN 7116³³, bijlage B.

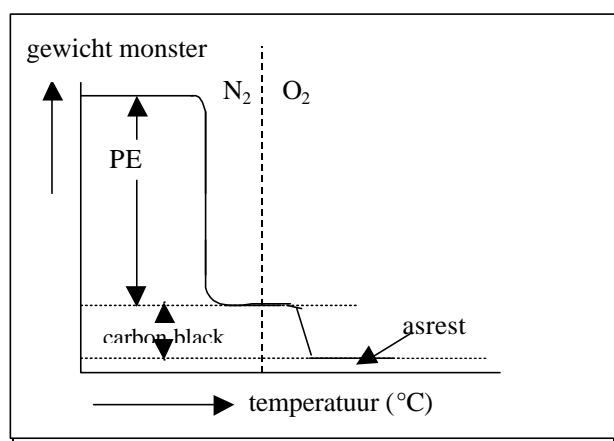


Fig.20 Bepaling carbonblack gehalte.

7.3.13 Bepaling van de afpelsterkte

De bepaling van de afpelsterkte omvat het beproeven van de las met een belasting loodrecht op het lasvlak. De beproeving wordt in principe uitgevoerd volgens DIN 53357³⁴ (DIN 16726) aan de proefstukken afgebeeld in figuur 21. De afpelsnelheid bedraagt 100 mm/min. De maximaal optredende afpelkracht wordt bepaald, daarnaast wordt het oppervlak van de afgepelde monsters beoordeeld op het optreden van vloeï. Ook wordt de afstand waarover afgepeld wordt vastgesteld.

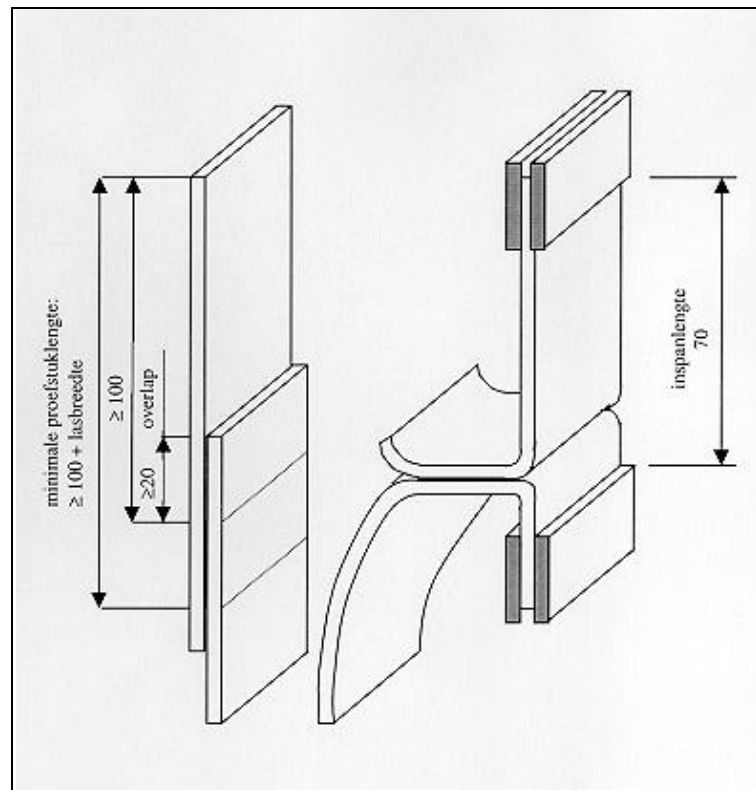


Fig.21 Afpelproef (maten in mm; breedte: 50 mm).

8 VERKLARENDE WOORDENLIJST

Afnamekeuring	:	Een onderzoek waarmee wordt vastgesteld dat een partij materiaal op de juiste wijze van het juiste materiaal is vervaardigd.
Alifatische verbindingen	:	Lineaire verbindingen en ringstructuren zonder geconjugeerde dubbele banden opgebouwd uit koolstof- en waterstofatomen. (c-hexaan, octaan etc.).
Aromatische verbindingen	:	Geconjugeerd onverzadigde ringstructuren (benzeenringen) opgebouwd uit koolstof- en waterstofatomen (benzeen, toluen xyleen etc.).
ASTM	:	American Society for the Testing of Materials.
Batch	:	Een duidelijk gedefinieerde hoeveelheid van een product of materiaal waarvan, naar aanleiding van het gevoerde productieproces, mag worden verwacht dat de eigenschappen gelijk zijn.
CEN	:	European Committee for Standardization.
Certificatie instituut	:	Door de Raad voor Accreditatie (RvA) voor het onderhavige vakgebied op basis van EN 45011 erkend instituut voor certificatie.
Chemische stof	:	In dit document elke stof, met uitzondering van water, waarmee de folie in contact komt.
Chemische aantasting	:	Verandering van fysische en mechanische eigenschappen van een materiaal onder invloed van het milieu waarmee het in contact komt.
Chemische reactie	:	Verandering in de molecuulstructuur van een materiaal door het milieu waarmee het in contact komt.
Confectioneren	:	Prefabricage van bijzondere vormstukken of (grote) delen van een afdichtingsconstructie.
Cunet	:	Vlakke deel van deponiebodem.
Detail lassen	:	Handmatig vervaardigde lassen van beperkte lengte in verband met bijzondere constructies, zoals doorvoeren, hoeken e.d. en reparaties.
Diffusie	:	Transport op moleculaire schaal van een stof door een andere stof onder invloed van concentratieverschillen.
DIN	:	Deutsche Industrie Norm.
Dwarsslussen	:	Lassen dwars op de lengterichting van de foliebanen.
Doorlatendheid	:	De mate waarin een afdichtingslaag water c.q. vloeistof doorlaat, uitgedrukt in mm per tijdseenheid.
Doorvoering	:	Waterdichte constructie om een buis door de folie te voeren.
Extern regeneraat	:	Grondstof vervaardigd van afgekeurde en niet gebruikte kunststoffen, bedoeld voor hergebruik in een andere productieplaats dan de productieplaats waar het materiaal oorspronkelijk middels een extrusie of spuitgietsproces is vervaardigd.
Gelamineerde folies	:	Uit meerdere lagen opgebouwde folie; de lagen kunnen van hetzelfde materiaal zijn of van verschillende materialen.
Geomembranen	:	Vloeistofdichte membranen die worden gebruikt als vloeistof- of damp/gasbarrière in samenhang met

	grond of andere aanverwante materialen als een integraal onderdeel van een geotechnische constructie.
Gewapende folie	: Folie met daarin opgenomen en daarin volledig omsloten vlies (non-woven of wijdmazig weefsel, c.q. zonder hoofd- of voorkeursrichting[-en]); De wapening heeft een maximale massa per oppervlakte-eenheid van 80 g/m ² .
Intern regeneraat	: Grondstof vervaardigd van afgekeurde en niet gebruikte middels het extrusieproces vervaardigde materialen, inclusief proefproducties, randstroken e.d., waarvan de specificaties bekend zijn, afkomstig van de productieplaats van de producent en bedoeld voor hergebruik in dezelfde productieplaats van de producent.
ISO	: International Organisation for Standardisation.
Klink	: Inkrimpen van de afvalmassa.
Kruislassen	: Dwarslassen, die over meerdere banen doorlopen.
Kwaliteitsborging	: Het op peil houden van een kwaliteitssysteem met inbegrip van het aantonen, dat het kwaliteitssysteem aan de gestelde eisen voldoet.
Kwaliteitssysteem	: Een stelsel van vastgelegde bedrijfskundige procedures en regels, dat tot doel heeft te verzekeren dat een product, proces of dienst aan de gestelde eis voldoet.
Kwaliteitszorg	: Georganiseerde zorgvuldigheid.
Lange lassen	: Semi-automatisch vervaardigde lassen van grote lengte, die dienen als verbinding tussen foliebanen.
Logboek	: Dagelijks bijgehouden voortgangsverslag bij realisatie of beheer van een voorziening.
Masterbatch	: Concentraat van toevoegstoffen benodigd voor het verkrijgen van de beoogde duurzaamheid, mechanische eigenschappen of kleur, dat bij extrusie of spuitgieten aan de grondstof wordt toegevoegd.
Milieu	: Naast de gebruikelijke betekenis in dit document ook de omgeving van de folie waarin zich al dan niet chemicaliën bevinden.
Milieufolies	: Kunststof geomembranen die ter bescherming van het milieu worden toegepast.
Milieuspanningsbroosheid	: Zie spanningscorrosie.
MRS	: Minimum Required Strength: De volgens ISO TR 9080 geëxtrapoleerde langeduursterkte van een materiaal uitgedrukt in N/mm ² (= MPa).
NEN	: Nederlandse Normen uitgegeven door het Nederlands Normalisatie Instituut NNI.
Olefinen	: Gedeeltelijk onverzadigde lineaire of vertakte verbindingen van koolstof en waterstof.
Opslagplaats	: Plaats voor het bewaren van stoffen voor een beperkte tijdsduur voordat verwerking of transport naar een plaats voor verwerking of stort plaats vindt.
Percolaat	: Vloeistof die uit of langs de gestorte afvalstoffen loopt (sijpelwater).
Permeaat	: Door de afdichting heengedrongen stoffen.
Permeatie	: Transport op moleculaire schaal van stoffen door een

	afdichtingslaag.
Polymeer	: Macromoleculaire stof, opgebouwd uit een groot aantal gelijke eenvoudige moleculen.
Prefabricage	: Werkzaamheden aan buizen of folie, zoals het combineren van meerdere foliebanen tot een baan van grote breedte, alvorens de folie op locatie komt. Deze prefabricage vindt in het algemeen plaats in een speciaal daarvoor ingerichte werkplaats.
Recyclebaar materiaal	: Grondstof vervaardigd van gebruikte producten.
Referentieperiode	: Tijdsbestek waarbinnen een materiaal of een constructie moet blijven voldoen aan de gestelde eisen.
Spanningscorrosie	: Gecombineerde werking van milieu en mechanische spanning, die leidt tot versneld falen.
Stabilisator	: Stoffen die in kleine hoeveelheden aan kunststoffen worden toegevoegd ter verbetering van de bestandheid tegen veroudering.
Stort	: De op een bepaalde plaats gestorte afvalstoffen (en de bodembeschermende voorzieningen).
Stortdossier	: Verzameling van documenten betreffende de gebruiksperiode.
Storten	: Het -al dan niet in verpakking- op of in de bodem brengen van afvalstoffen, teneinde zich van deze stoffen te ontdoen.
Stortplaats	: Zie stort.
Thermische veroudering	: Veroudering onder invloed van zuurstof uit de lucht (polyolefinen) of door afsplitsen van zoutzuur (PVC-P).
THF	: Tetrahydrofuraan, een oplosmiddel voor PVC.
Toelatingsonderzoek	: Onderzoek waarmee tijdens een certificatieprocedure wordt vastgesteld of een produkt aan de eisen voldoet
Typebeproeving	: Zie toelatingsonderzoek.
Typemateriaal	: Het monstermateriaal, representatief voor het bewuste fabriek, waaraan het toelatingsonderzoek is uitgevoerd.
UHF	: Ultrahoogfrequent.
UV	: Ultraviolet (straling).
Vergunning	: Vergunning als bedoeld in artikel 6 van de wet.
Versterkte folie	: Folie met een daarin opgenomen en daardoor volledig omsloten weefsel (woven, met of zonder voorkeursrichting[-en]); De versterking heeft een minimale massa per oppervlakte-eenheid van 80 g/m ² .
Voorziening	: Constructie(onderdeel).
Zetting	: Deformaties van de ondergrond.
Zettingsgradiënt	: Verloop van grondzetting in de tijd.
Zettingsverschillen	: Verschil in zetting van plaats tot plaats, waardoor deformaties in de afdichting ontstaan.

9 LITERATUUR

1. T.A. der Kinderen, G. Hamm, J.A. Molhoek, "Richtlijn voor het toepassen van geomembranen ter bescherming van het milieu", VROM, NGO, KRITNO en KIWA, VROM Reeks

Bodembescherming 1991/5 (KRI-TNO Rapport Nr. 296/'91

2. KIWA Beoordelingsrichtlijn BRL-K538/02, "Afdichtingsfolie van hoge dichtheid polyetheen (PE-HD) zonder versterking", februari 1998.
3. KIWA Beoordelingsrichtlijn BRL-K519/03, "Niet versterkte afdichtingsfolie van weekgemaakt polyvinylchloride (PVC-P) zonder cachering", februari 1998.
4. idem
5. Richtlijnen voor dichte eindafwerking op afval- en reststofbergingen, Ministerie van Volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer. juli 1991. Reeks Bodembescherming 1991/2.
6. Handleiding voor ontwerp en constructie van eindafdekkingen van afval- en reststofbergingen, VROM. Reeks Bodembescherming 1991/4.
7. H. August, R. Tatzky, G. Pastuska, T. Win, "Untersuchungen des Pemeationsverhaltens von handelsübliche Kunststoffdichtungsbahnen als Deponiebasisabdichtung gegenüber Sickerwasser organischen Lösungsmitteln und deren waârige Lösungen, Forschungsbericht nr. 103 02 208, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin-Dahlem (1984).
8. Referentie Nr. 1, par. 5.5.1.
9. idem
10. A.K. van der Vegt, A.E. Schouten, "Plastics", Delta Press 1987
11. idem
12. idem
13. DIN-EN-ISO 8256, "Plastics –Determination of tensile-impact strength; technical corrigendum 1:1991; German version EN ISO 8256:1996", februari 1997.
14. NEN 3056, "Kunststoffen - Beproevingmethoden voor gekalanderde folies", december 1967.
15. "Bouwtechnische richtlijnen mestbassins", Ministerie VROM en Ministerie van Landbouw en Visserij", 1990.
16. DIN 53363, "Prüfung von Kunststoff-Folien, Weiterreissversuch an trapezförmigen Proben mit Einschnitt", mei 1969.
17. DIN 16726, "Kunststoff -Dachbahnen, Kunststoff-Dichtungsbahnen, Prüfungen", december 1986.
18. idem
19. PrEN-ISO 9080, "Plastic piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation (revision ISO TR 9080)", februari 1998.

20. ISO 4437, "Buried polyethylene pipes for the supply of gaseous fuels -Metric series-Specification", 1997.
21. DIN 53495, "Prüfung von Kunststoffen, Bestimmung der Wasseraufnahme", April 1984.
22. ASTM D-1693, "Standard Test Method for Environmental Stress-Cracking of Ethylene Plastics", 1997.
23. "Handleiding bij de bouwtechnische richtlijnen mestbassins, HBRM 1991 (tweede druk)", IMAG-DLO en CUR.
24. NEN-ISO 9000, "Quality management and quality assurance standards: Part 2: Generic guidelines for the application of ISO 9001, ISO 9002 and ISO 9003. (ISO 9000-2:1997)", 1997.
25. ISO 1133, "Plastics-Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics", 1997.
26. Zie referentie 3.
27. "Bau- und Prüfgrundsätze für Kunststoffbahnen als Abdichtungsmittel von Auffangwannen und Auffangräumen für der Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten" van het Institut für Bautechnik", par. 4.8, 4.9 en 4.10 van editie 1982, (BPG Kunststoffbahnen)
28. DIN-EN 1876-1, "Rubber or plastic coated fabrics – Low temperature tests – Part 1: Bending test; German version EN 1876-1)", 1997.
29. ISO 527-1 en -2, "Plastics - Determination of tensile properties – Part 1: General principles; Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics", 1996.
30. ASTM D 3895, "Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefins by Differential Scanning Calorimetry", 1995.
31. DIN 53881, Teil I, "Prüfung von Kunststoffen, Bestimmung der Thermostabilität von Polyvinylchlorid (PVC), Dehydrochlorierungsverfahren". 1983
32. NEN 20176, "Plastics - Determination of loss of plasticizers-Activated carbon method", 1978.
33. NEN 7116, Kunststofdrinkwaterleidingen - Buizen van polyetheen (PE) - Eisen en beproevingsmethoden", december 1989.
34. DIN 53357, "Prüfung von Kunststoffbahnen und -folien - Trennversuch der Schichten", oktober 1982.