

Kunststof-leidingmaterialen in verontreinigde grond

L. VAN DRIEL, KIWA N.V. CERTIFICATIE EN KEURINGEN

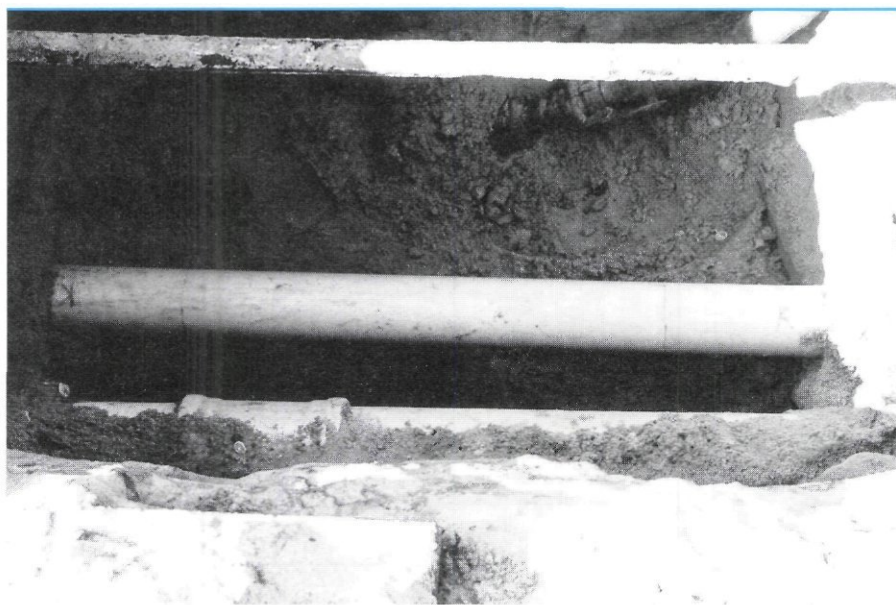
H. VAN DER JAGT, KIWA N.V. ONDERZOEK EN ADVIES

Voor een betrouwbare drinkwatervoorziening is het noodzakelijk dat de gebruikte materialen veilig zijn. Bij een bodemverontreiniging is het bij een nog aan te leggen (drinkwater)leidingsysteem van groot belang vast te stellen aan welke randvoorwaarden de keuze van leidingmateriaal en verbindingstechnieken in het leidingsysteem moeten voldoen. In dit artikel gaan de auteurs in op de vraag welke leidingmaterialen geoorloofd zijn als sprake is van verontreinigde grond.

Gebruik van veilige leidingmaterialen is noodzakelijk voor een betrouwbare drinkwatervoorziening. Dit uit het oogpunt van de volksgezondheid (zie ook artikel 4 van de Waterleidingwet). Dit verklaart ook het belang dat gehecht wordt aan goedkeuring van de materialen, die voor drinkwaterbereiding en -distributie worden gebruikt en de Leidraad bodemverontreinigingen. Er bestaan criteria die moeten voorkomen dat de grond dermate wordt verontreinigd dat het de drinkwatervoorziening negatief beïnvloedt. In de praktijk blijkt dat bij bodemverontreiniging op een plek waar een kunststof drinkwaterleiding gelegd moet worden, het van groot belang is vast te stellen aan welke randvoorwaarden de keuze van het leidingmateriaal en verbindingstechnieken in het leidingsysteem moet voldoen.

Omdat anorganische elementen (zware metalen) en -verbindingen niet door kunststofmaterialen kunnen permeëren, beperkt de informatie zich tot het effect van organische verbindingen uit bodemverontreinigingen in relatie tot de kunststofleidingsystemen. Een essentieel element is de confrontatie tussen de beoordeling van het leidingmateriaal en de aangetroffen verontreinigingen in de aanwezige grond. Het leidingmateriaal wordt beoordeeld op de aard van de aanwezige stoffen, waarvan de aanwezigheid bij de fabricage onder de gestelde voorwaarden toelaatbaar wordt geacht. De grondverontreinigingen

dingstechnieken in het leidingsysteem moet voldoen.



dienen te voldoen aan de interventiewaarden, die opgesteld zijn door de overheid.

Verontreinigde grond

Interventiewaarden

Voor het classificeren van verontreinigde grond worden in Nederland de zogenaamde interventiewaarden bodemsanering gehanteerd¹⁾. Deze interventiewaarden geven voor verontreinigingen in grond en grondwater het concentratieniveau aan waarboven ernstige of dreigende vermindering optreedt van de functionele eigenschappen die de bodem heeft voor mens, plant en dier. Bij gehalten boven de interventiewaarden is er sprake van ernstige verontreiniging. De interventiewaarden zijn vastgesteld voor grond/sediment en grondwater en gelden voor land- en waterbodems. Concreet gezien gelden de waarden voor alle oppervlakken/bodems van het Nederlandse grondgebied.

Streefwaarden

In een regeringsbeleidstandpunt²⁾ is voor een groot aantal verontreinigende stoffen een kwantitatieve invulling gegeven van de streefwaarden bodem en water. De streefwaarden geven het uiteindelijk te bereiken kwaliteitsniveau van de bodem aan. Om deze streefwaarden te berekenen, is gebruik gemaakt van gegevens zoals drinkwater- en oppervlaktewaternormen. Voor zware metalen is bijvoorbeeld ook gebruik gemaakt van een analyse van veldgegevens uit onbelaste gebieden.

Soorten van verontreinigingen

De verontreinigingen in grond zijn onder te verdelen in een aantal groepen, zoals zware metalen, anorganische verbindingen en organische verbindingen. Als gevolg van uitloging van de verontreinigde grond kan het onderliggende grondwater worden beïnvloed, waardoor dit water onbruikbaar wordt voor gebruik als drinkwater. Op grond hiervan zijn interventiewaarden opgesteld waaraan het grondwater dient te voldoen.

In tabel 1 zijn de streef- en interventiewaarden opgenomen waaraan het grondwater dient te voldoen.

Oplosbaarheid van stoffen bij uitloging

Vonk beschrijft in de Kiwa-mededeling 85³⁾ dat de fysisch-chemische situatie tussen de pure chemische stof en de maximale oplosbaarheid van deze stoffen in water (zie tabel 2) gelijk is te stellen. Voor permeatie door kunststof-leidingmaterialen houdt dit in dat in de praktijk het gebruik van concentratie-niveaus boven de maximale oplosbaarheid onrealistisch is. Het is dus van belang de waarden tot aan de maximale oplosbaarheid van de organische stoffen te hanteren als 'worse-case' situatie in de praktijkgevallen, zodat de maximale

Stof	streefwaarde(ug/l)	interventie- waarde (ug/l)
Monocyclische aromatische koolwaterstoffen		
Benzeen	0,2	30
Fenol	0,2	2000
Tolueen	0,2	1000
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen		
Naftaleen	0,1	70
Antraceen	0,02	5
Fenantreen	0,02	5
Gechloreerde koolwaterstoffen		
1,2-dichloorethaan	0,01	400
dichloormethaan	0,01	1000
tetrachloormethaan (tetra)	0,01	10
trichloormethaan (chloroform)	0,01	400
Bestrijdingsmiddelen		
DDT/DDE/DDD (de som van)	*)	0,01
Carbaryl	0,01	0,1
Carbuforan	0,01	0,1

*) niet aantoonbaar

Tabel 1: Overzicht van de streef- en interventiewaarden van organische stoffen in grondwater.

Tabel 2. Overzicht maximale oplosbaarheid in water
van 20°C

organische verbindingen	Maximum oplosbaarheid $S_{\max}$ (mg/l)
Monocyclische aroma- tische koolwaterstoffen	
benzeen	1.780
tolueen	515
xylenen	190
1,3,5-trimethylbenzeen	20
ethylbenzeen	152
propylbenzeen	60
Gechloreerde koolwater- stoffen	
Trichloormethaan (chloroform)	8.000
Tetrachloormethaan (tetra)	800
Trichloormethaan (tri)	1.100
Tetrachlooretheen (per)	150
1,2-dichloorethaan	8.700
1,2-dichloorpropan	2.700
chloorbenzeen	500
Alifaten	
Hexaan	9,5
Heptaan	3,0
Octaan	0,7
Nonaan	0,45
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen	
Naftaleen	30
Anthraceen	1,3
Fenanthreen	1,6
Fenol	82.000

aanwezigheid van organische stoffen opgelost in water, dat in contact staat met de kunststofmaterialen, kan worden geëvalueerd. In tabel 2 is een overzicht gegeven van de maximale oplosbaarheid van relevante organische verbindingen in water (S_{max}) bij 20°C.

Schadelijke stoffen

In de jaren zeventig bleek dat methylbromide (toegepast als grondontsmettingsmiddel in de tuinbouw) het drinkwater in het Westland had verontreinigd. De oorzaak was te vinden in het permeatiegedrag van de ter plaatse gebruikte polyethyleenbuizen. Ook kwamen er klachten over de reuk en smaak van het drinkwater, afkomstig uit kunststofleidingen, die in de omgeving van benzinstations waren gelegd. Als gevolg van deze gevallen van mogelijke permeatie van stoffen door leidingmaterialen, heeft Kiwa een groot onderzoek²⁾ uitgevoerd naar het gedrag van diverse materialen bij contact met organische stoffen in gasvorm of in water. Hieruit bleek dat de mate van chemische aantasting van materialen onder invloed van verontreinigingen in water, permeatie tot gevolg heeft waardoor de kwaliteit van het aanwezige drinkwater in het leidingstelsel negatief werd beïnvloed. De permeatie door de buiswand bleek echter sterk afhankelijk van een groot aantal factoren (deze zijn nader beschreven in de genoemde Kiwa-mededeling).

Permeatie

De meeste kunststoffen kunnen vloeistoffen, gassen of dampen absorberen. Dit verschijnsel wordt permeatie genoemd. De

gevolgen van dit soort absorptie zijn soms van fysische, soms van chemische aard. Wanneer er damp door een kunststof heendringt, blijft de kunststof zelf gewoonlijk onaangepast. Wat vaker voorkomt is dat de zwelling van de kunststof permeatie veroorzaakt. De mechanische eigenschappen van het materiaal, als gevolg van veranderingen in de structuur, kan in voorkomende gevallen leiden tot een spontane breuk of scheuring. In andere gevallen leidt het contact met organische stoffen tot permeatie als gevolg van chemische aantasting. Het verschijnsel permeatie wordt omschreven als het binnendringen van moleculen afkomstig van organische stoffen in een vast kunststofmateriaal, zoals bijvoorbeeld polyethyleen (PE), polyvinylchloride (PVC), polybutyleen (PB) e.a. elastomeren. Bij kunststofmaterialen, die zich onder normale condities in de glastoestand (zoals PVC) bevinden, kan bij aanwezigheid van veel vluchtige organische verbindingen verweking optreden. Dit gebeurt echter alleen in hoge concentraties. In het geval van kunststofmaterialen, die zich onder normale condities in de glastoestand (zoals PVC) bevinden, kan verweking van de kunststof bij aanwezigheid van veel vluchtige organische verbindingen, die in hoge concentraties aanwezig zijn, optreden. In zo'n geval kan de permeant (vluchtige organische stoffen tussen de intermoleculaire ruimten) gemakkelijk diffunderen van de ene positie naar de andere positie (de zogenaamde pinholes tussen de starre polymeerketens). De verweking ontstaat als de wisselwerkingskrachten tussen de polymere ketens wordt verminderd als gevolg van de aanwezigheid van de permeant, waardoor de afstand tussen de ketens groter wordt. Hierdoor treedt zwelling op. Door de interactie (o.a. het 'zwellen') ontstaan opnieuw intermoleculaire ruimten en de permeant kan nieuwe ketens bereiken. Dit proces zal toenemen in de tijd. Vooral bij buismateriaal treedt er een stofstroom op, die loodrecht door de buiswand (de kortste weg) gaat. De hoeveelheid stof (moleculen van de permeant) die per tijdseenheid en oppervlakte-eenheid door een dwarsdoorsnede van de kunststof buis permeëert is evenredig met de concentratie van de permeant aan de buitenzijde van de buis, de verdelingscoëfficiënt (de oplosbaarheid van de permeant in het buismateriaal en de snelheid waarmee de permeant door de kunststof voortschrijdt (de diffusie-coëfficiënt). Deze laatste is ook afhankelijk van de temperatuur van de kunststof, maar omdat deze de grondwatertemperatuur zal hebben (10 - 15 °C) is dit minder van belang.

Tenslotte zal een evenwicht ontstaan tussen de intredende- (buitenzijde buis) en de uitredende (binnenzijde buis) permeant: er vindt een continue stofstroom plaats. PVC is

goed bestand tegen organische zuren, alcohollen en alifatische koolwaterstoffen. PVC is echter minder goed bestand tegen bijvoorbeeld hoge concentraties aan vluchtige aromaten. In het algemeen is de permeatie gering bij relatief grote moleculen.

Naar aanleiding van de problemen met het fenomeen permeatie en de bevindingen uit de studie naar het effect van organische stoffen op het permeatiegedrag van materialen (1994/1995), heeft Kiwa een tweetal Kiwa-beoordelingsrichtlijnen^{6),7)} uitgebracht voor installatie van kunststofleidingssystemen in verontreinigde bodem. Nieuwe inzichten en toekomstige ontwikkelingen (metingen, berekeningsmodellen en leidingmaterialen) kunnen ertoe leiden dat een inschaling zal plaatsvinden van leidingmaterialen in relatie tot verschillende (soorten van) bodemverontreinigingen.

In tabel 3 is een eerste aanzet gegeven om categorieën van organische stoffen in relatie tot materialen op te stellen. Dit is op een zodanige manier gedaan dat inzicht wordt verkregen in de maximale toelaatbare concentratie aan organische stoffen bij gebruik van verschillende materialen.

Het is echter onwaarschijnlijk dat de genoemde concentraties in de praktijk zullen voorkomen. De waarden in tabel 3 zijn verkregen door onder andere uit te gaan van de meest ongunstige situatie zoals omschreven in de Beoordelingsrichtlijn BRL K545(6) voor polyetheen-leidingmaterialen voor het transport van drinkwater door verontreinigde grond en voor BRL-K532(7) voor glasvezelversterkte epoxy-leidingssystemen met gewikkelde buizen. Te zien is dat buizen volgens BRL-K545 minder bestand zijn tegen gechlooreerde koolwaterstoffen en -fenolen.

Toegepaste kunststof materialen

Kiwa geeft beoordelingsrichtlijnen uit voor materialen. In deze richtlijnen zijn alle relevante eisen opgenomen die door Kiwa als grondslag worden gehanteerd voor de afgifte en instandhouding van een Kiwa-certificaat voor kunststof-leidingssystemen. Dat geldt ook voor richtlijnen voor transport van koud en verwarmd drinkwater door dergelijke systemen en voor (eventueel) toegepaste mantelbuizen. Alle onderdelen van de kunststof-leidingssystemen die in contact komen met drinkwater moeten toxicologisch goedgekeurd zijn voor de maximale gebruikstemperatuur¹⁶⁾. De Kiwa-kwaliteitsverklaring geldt voor een systeem in zijn geheel en is omschreven als een Attest met productcertificaat.

De volgende kunststofmaterialen zijn in deze beoordelingsrichtlijn beschreven.

Matrixmaterialen

De matrixmaterialen voor polymeercom-

Organische verbindingen	maximum toelaatbare concentraties (µg/l) in grondwater.					
	Polyetheen (PE)		PVC	rubber ring	Glasvezel versterkte kunststof (GVK)	
	homo-geen	met barrière-laag			homo-geen	met barrière-laag
Monocyclische aromatische koolwaterstoffen	9			5		
benzeen		1.780.000	178.000		1.000.000	1.780.000
tolueen		515.000	51.500		515.000	515.000
xylenen		190.000	19.000		190.000	190.000
1,3,5-trimethyl-benzeen		20.000	2.000		20.000	20.000
ethylbenzeen		152.000	15.000		152.000	152.000
propylbenzeen		60.000	6.000		60.000	60.000
Gechlooreerde koolwaterstoffen	10			10		
Trichloormethaan (chloroform)		6.800.000	800.000		100.000	8.000.000
tetrachloormethaan (tertra)		680.000	80.000		100.000	800.000
trichloormethaan (tri)		935.000	110.000		100.000	1.100.000
tetrachlooretheen(per)		130.000	15.000		100.000	150.000
1,2-dichloorethaan		7.395.000	87.000		100.000	8.700.000
1,2-dichloorpropaan		2.295.000	270.000		100.000	2.700.000
chloorbenzeen		425.000	50.000		500.000	500.000
Alifaten	100			100		
Hexaan		9.500	2.375		9.500	9.500
Heptaan		3.000	750		3.000	3.000
Octaan		700	175		700	700
Nonaan		450	110		450	450
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen	5			5		
naftaleen		30.000	15.000		30.000	30.000
anthraceen		1.300	650		1.300	1.300
fenanthreen		1.600	800		1.600	1.600
Fenol	23.000	8.500.000	1.000.000	23.000	1.000.000	10.000.000

Opmerking: de gegeven waardes zijn in relatie met de waardes in tabel 2.

Tabel 3. Overzicht van de maximaal geoorloofde verontreinigingen in relatie tot de keuze van kunststof-leidingssystemen.

posieten bestaan uit thermoplasten en -harders. Ongeveer 95 procent van de composieten die in de handel zijn, heeft een matrix van thermohardend materiaal (epoxy). Er is echter een sterke opkomst van glasvezel bewapeningsmateriaal.

Polyvinylchloride

Stijf PVC (zonder weekmaker) is bijna sterk en stijf genoeg om voor een technisch plastic te kunnen doorgaan. Het is thermoplastisch, goed verweekbaar, goed omvormbaar en heeft voor de meeste verontreinigingen een lage permeabiliteit. Voor PVC geldt echter dat bij 10 tot 25 procent van de maximale oplosbaarheid van aromaten en gechlooreerde alifaten verweking optreedt, waardoor de permeabiliteit extreem toeneemt.

Polyallomeren

Polyallomeren zijn kristallijne copolyme-

ren van olefinen (onverzadigde koolwaterstoffen). Een polyallomeer is een blokpolymeer van polyetheen en polypropreen. De eigenschappen variëren door de lengte van de polyetheen- en polypropreenblokken in de keten. Een hoge kristallisatiegraad leidt tot een hoge verbuigingsweerstand. Voor polyetheen geldt dat bij een laag concentratieniveau aan organische stoffen al permeatie kan optreden. Het materiaal is echter wel chemisch resistent.

Thermoharders

Thermoharders bestaan eveneens uit zeer lange, in elkaar verwarde molecuulketens, die echter door dwarsverbanden niet terug kunnen komen in de plastische toestand. De combinatie van glasvezel en hars (de thermoharder) zorgt hier voor een product met goede mechanische eigenschappen. Door het ruimtelijke netwerk van dwarsverbanden tussen de

molecuulketens is permeatie, zoals dat bij thermoplasten optreedt, bijna niet mogelijk. Het materiaal heeft dus een zeer hoge impermeabiliteit. Ook blijkt het materiaal op langere termijn niet te worden aangetast door organische stoffen.

Elastomeren

Elastomeren zijn polymeren met rubberachtige eigenschappen. Elastomeren bestaan uit zeer lange in elkaar verwarde molecuulketens, die door het zogenaamde vulkaniseren (met zwavelbindingen) dwarsverbanden aangaan. Door de zeer lage interne weerstand blijft het mogelijk het materiaal (niet blijvend) te vervormen. Rubber wordt in verbindingen toegepast om de waterdichtheid te garanderen. In de bestaande (Kiwa-gekeurde) verbingsconstructies zal het bodemwater altijd tot aan de buitenzijde van de afdichtingsring komen. Ondanks de dwarsverbanden tussen de ketens blijken rubbers zeer permeabel te zijn voor organische moleculen. Tevens kan op termijn degeneratie optreden onder invloed van de verontreiniging, wat tenslotte ook de waterdichtheid van de verbinding zal verminderen.

Bij het gebruik in verontreinigde grond moet kritisch gekeken worden naar de lange termijn eigenschappen en de taaheid.

Er zijn een aantal kunststof-leidingsystemen speciaal geschikt om (ook) te worden toegepast in vervuilde grond. Voor het permeatiegedrag wordt zowel de buis, de fitting als de verbinding door Kiwa op specifieke groepen van verontreinigingen getest (leidraad Kiwa⁴) gaat hier dieper op in).

Voor de keuze van kunststof-leidingsystemen in verontreinigde grond zijn de volgende items van belang om een goed beeld te krijgen over de opbouw van het systeem.

De binnenlaag

De binnenlaag van de buis heeft als voornaamste functie het weerstaan van de mechanische belastingen gedurende tenminste 50 jaar.

Barrièrelaag

De functie van de barrièrelaag in het kunststof-leidingsysteem is de permeatie van (alle soorten) verontreinigingen door de buiswand in het drinkwater zodanig te verhinderen, dat ook na 50 jaar geen gevaar bestaat voor de menselijke gezondheid¹. Een aantal van de meest permeabele en/of schadelijke verontreinigingen worden samen met hun maximaal toegestane concentratie in relatie tot de barrierefunctie van de leidingsysteemtypen in tabel 3 genoemd.

De beschermingslaag

Voor de buitenste laag van de leiding, die in contact komt met het grondwater, geldt in ieder geval dat deze chemische resistentie

moet bieden tegen de schadelijke invloed van de aanwezige verontreinigingen. De beschermende functie van de buitenlaag zorgt dat het grondwater niet in direct contact komt met de barrièrelaag. Natuurlijk moet de buitenlaag ook voorkomen dat van buitenaf scheuren of gaten kunnen ontstaan in de barrièrelaag (bijvoorbeeld tijdens de installatie).

Verbindingen

Elk leidingsysteem bestaat uit een combinatie van buizen, fittingen en verbindingen. Is het niet te vermijden dat verbindingen zich (tenslotte) ook in de verontreinigde grondlocatie bevinden, dan geldt ook hier dat via de verbinding geen schadelijke stoffen het drinkwater mogen bereiken. In ieder geval is het af te raden om verbindingen met enkelvoudige rubberringen toe te passen (onafhankelijk van het buis- en fittingmateriaal). Ten aanzien van kunststofleidingsystemen voor gebruik in grond met organische verontreinigingen, zijn in principe slechts de beide door Kiwa goedgekeurde typen leidingsystemen geschikt om als compleet systeem te voldoen aan de gestelde eisen volgens de Richtlijn van de Hoofdspecie van de Volksgezondheid (tabel 2).

Conclusie

In Nederland is tot nu toe een aantal gebieden met bodemverontreinigingen in beeld gebracht. Op deze locaties zijn verontreinigingen vastgesteld die op grond van een milieuhygiënische noodzaak gesaneerd moeten worden. In een aantal gevallen is er sprake van een zeer groot volume zandig materiaal met een lichte streefwaarde-overschrijding. Bij het aanleggen van kunststofleidingsystemen in deze gebieden dient rekening te worden gehouden met het fenomeen permeatie als gevolg van organische verontreinigingen. In zo'n geval is het van belang een evaluatie uit te voeren met als onderliggend

basisstuk de Kiwa-BRL, waarin de uitgangspunten voor de keuzes en de eisen voor deze toepassingen aan bod komen.

In het geval dat verontreinigingen zijn aangetroffen in een leidingtraject dat niet gesaneerd zal worden, moet voor de keuze van het kunststof-leidingsysteem in ieder geval antwoord worden gegeven op de volgende vier vragen: Kan de verontreiniging door de kunststof permeëren? Is de verontreiniging chemisch resistent voor (bepaalde) kunststoffen? Wat is de aangetroffen concentratie van de verontreiniging? Moeten in de bodemverontreiniging verbindingen worden aangebracht? Bij twijfel is het aan te raden om te kiezen voor systemen die door Kiwa gekeurd zijn^{6,7}.

LITERATUUR

- 1) Waterleidingbesluit (1984). Ministerie van VROM.
- 2) Vonk, M. (1985) 'Permeatie van organische verbindingen door leidingmaterialen', Kiwa-mededeling nummer 85.
- 3) Circulaire interventiewaarde bodemsanering (1994). Directoraat-generaal Milieubeheer, Directie Bodem, afdeling Waterbodems en kwaliteit.
- 4) Meerkerk, M. (1998). 'Leidraad voor de toepassing van kunststof-leidingsmaterialen in verontreinigde bodem', Kiwa N.V.
- 5) Beleidsstandpunt over de notitie 'Milieudoelstellingen bodem en water' (MILBOWA), kamerstukken II 1991/92, 21 990 en 21 250 nr.3.
- 6) BRL-K545/01 (1995): 'Polyetheen-leidingsystemen met gewikkelde aluminium barrièrelaag voor het transport van drinkwater door verontreinigde grond', Kiwa N.V. Certificatie en Keuringen.
- 7) BRL-K532/02 (1994): 'Glasvezelversterkte epoxy-leidingsystemen met gewikkelde buizen voor het transport van water door al of niet verontreinigde grond', Kiwa N.V. Certificatie en Keuringen.
- 8) BRL-K5301 (1996): 'Leidingsystemen voor het transport van water: gewikkelde buizen en hulpstukken van glasvezelversterkte polyester'.
- 9) BRL-K539/01 (1992): 'Centrifugaal gegoten buizen en hulpstukken van versterkte polyester voor het transport van water of rioolwater'.
- 10) BRL-K502/02 (1998): 'Drinkwaterbuizen van PVC-U' en ontwerp-wijzigingsblad 1998.
- 11) BRL-K534/03 (1998): 'Klemfittingen voor PE-drinkwaterleidingbuizen'.
- 12) BRL-K569/01 (1998): 'Stuik- en elektrolashulpstukken van PE voor het transport van drinkwater'.
- 13) BRL-K504/02 (1997): 'Lijmfittingen voor PVC-drinkwaterleidingbuizen'.
- 14) BRL-K521/01 (1991): 'Dubbele moffen en trekvast koppelingen van PVC-U met een voorziening van ontluchting voor waterleidingsystemen'.
- 15) BRL-K533/02 (1997): 'Drinkwaterleidingbuizen van PE' en ontwerp-wijzigingsblad 1998.
- 16) Van der Jagt, H. (1998). Approval testing of products for effects of materials on water quality in the Netherlands. Proceeding paper, CIB W62 symposium in Rotterdam.

Toegestaan

Onder Kiwa-keur worden voor drinkwater buitenshuis uitsluitend de volgende buismaterialen toegestaan: PE40, PE 63, PE 80, PE 100¹⁵) en PVC¹⁰). Deze buisdelen kunnen volgens een aantal methoden met elkaar verbonden worden. PE: klemverbindingen van bijvoorbeeld polyacetaal¹¹) of lasverbindingen¹²). PVC: lijmverbindingen¹³) of klemverbindingen¹⁴). (Voor zowel het verbinden van PE- als PVC-buizen bestaan een groot aantal Kiwa-beoordelingsrichtlijnen, slechts enkele zijn in de literatuurlijst opgenomen). GVK: leidingsystemen⁸) en polyester-leidingsystemen⁹). Alleen gelaste of gelijmde verbindingen maken geen gebruik van rubber ringen.