

PCD 5:2016 | Mei 2016

# De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodem

*Permeatie*



# De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodem

*Permeatie*

KWR | PCD 5:2016 | Mei 2016

## Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

## Auteur

ing. M.A. (Martin) Meerkerk

Jaar van publicatie  
2016

### Meer informatie

Martin Meerkerk  
T (030) 60 69 591  
E [Martin.Meerkerk@kwrwater.nl](mailto:Martin.Meerkerk@kwrwater.nl)

KWR  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

T 030 60 69 511  
F 030 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



PCD 5:2016 | Mei 2016 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# Praktijkcode Drinkwater

## *Status*

De Nederlandse drinkwaterbedrijven maken in de dagelijkse bedrijfsvoering gebruik van richtlijnen met als doel het (hoge) kwaliteitsniveau van de bedrijfsvoering te handhaven en waar mogelijk verder te verbeteren, en/of de efficiency van de bedrijfsvoering te verhogen en bij te dragen aan het verder uniformeren van de werkwijzen binnen de drinkwatersector. Deze richtlijnen hebben doorgaans het karakter van een 'aanbeveling van een te volgen gedrag of handelswijze' en niet van een 'bindend voorschrift'<sup>1</sup>. Het gaat om privaatrechtelijke richtlijnen voor de ondersteuning in de dagelijkse praktijk van de bedrijfsvoering ('best practices') in het gehele traject van bron tot tap. De richtlijnen (soms ook aangeduid als 'leidraad') worden sinds 2008 opgesteld en hebben in 2015 de aanduiding 'Praktijkcode Drinkwater' (PCD) gekregen.

## *Verantwoording*

Praktijkcodes worden opgesteld in opdracht van het Platform Bedrijfsvoering, waarin vertegenwoordigers van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en het Vlaamse bedrijf Pidpa participeren. Dit Platform heeft het beheer van praktijkcodes gedelegeerd aan de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen, die de 'eigenaarsrol' vervult. Ook in die groep participeert in beginsel één vertegenwoordiger per bedrijf. De voorzittersrol wordt vervuld door een van deze vertegenwoordigers, terwijl KWR Watercycle Research Institute dat doet ten aanzien van de rol van secretaris.

## *Totstandkoming en kwaliteitsborging*

Een specifieke praktijkcode of een revisie daarvan (zie onder) komt met inhoudelijke bijdragen van deskundigen van drinkwaterbedrijven en onderzoekers van KWR Watercycle Research Institute interactief tot stand onder begeleiding van een projectgroep bestaande uit deskundigen van de drinkwaterbedrijven en/of -laboratoria. De leden van die projectgroep worden aangezocht vanwege hun specifieke kennis en/of vaardigheden die noodzakelijk is/zijn voor het betreffende onderwerp. Het voorzitterschap wordt in beginsel waargenomen door een vertegenwoordiger van de drinkwaterbedrijven; KWR Watercycle Research Institute vervult het secretariaat en rapporteert de voortgang aan de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen. Soms maken drinkwaterbedrijven gebruik van de mogelijkheid om zich als agendalid van een projectgroep te laten registreren.

Na vaststelling van een praktijkcode door de begeleidende projectgroep wordt die ter formele vaststelling voorgelegd aan de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen.

## *Openbaarheid*

Praktijkcodes Drinkwater zijn openbaar. Een actueel overzicht van alle praktijkcodes is te vinden op 'Watnet', een KWR-intranet voor de drinkwaterbedrijven.

## *Periodieke actualisatie*

Bestaande praktijkcodes worden periodiek geëvalueerd. In beginsel is er sprake van een 'vijfjaarsrevisie': primair wordt de vraag gesteld en bediscussieerd of actualisatie gewenst dan wel noodzakelijk is en als dat het geval blijkt te zijn, wordt die volgens

<sup>1</sup> Beide omschrijvingen zijn afkomstig uit 'Van Dale'.

een afgesproken procedure projectmatig geactualiseerd. De vorige editie van een praktijkcode is daarbij uitgangspunt. Als actualisatie niet gewenst of noodzakelijk blijkt te zijn, wordt een praktijkcode in principe opnieuw voor een periode van vijf jaar vastgesteld.

# De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodem

## *Editie*

Het voorliggende document is de derde editie van een praktijkcode (huidige benaming), die in 2016 is afgerond. Naast een redactionele slag zijn de belangrijkste inhoudelijke wijzigingen ten opzichte van de tweede editie [17]:

- De gegevens over rubber afdichting(sring)en ten behoeve van verbindingen zijn aangevuld en in een separaat hoofdstuk geplaatst;
- Voor kunststof materialen en rubber wordt onderscheid gemaakt tussen chemische bestendigheid en permeatie;
- Zowel de verbindingen in als de hulpstukken voor PE leidingen zijn nader uitgewerkt, inclusief de risico's voor permeatie;
- Modelberekeningen door de wand van een leiding zijn vereenvoudigd en er is onderscheid gemaakt tussen permeatie door een gehele leiding en een deel daarvan (bijvoorbeeld door een rubber afdichting(sring));
- De samenvattende tabel is omgezet naar de toepassing van streef- en interventiewaarden uit de vigerende 'Circulaire bodemsanering' [24].

Bovendien is de als KWR-rapport uitgegeven tweede editie omgezet naar een (gestandaardiseerde) praktijkcode.

## *Samenstelling projectgroep*

Door het specifieke karakter van het onderwerp 'permeatie' is deze praktijkcode niet zoals te doen gebruikelijk interactief tot stand gekomen met een begeleidende projectgroep. Een concept van dit document is op verzoek van de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen voorgelegd aan Peter Horst (PWN) en enkele medewerkers van Dunea. Het door hen geleverde commentaar is in dit document verwerkt. Als laatste is het eindconcept van deze praktijkcode beoordeeld door Mirjam Blokker in haar hoedanigheid van 'kwaliteitsborger' van KWR Watercycle Research Institute.

## *Vaststelling praktijkcode*

Deze praktijkcode is vastgesteld door de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen in de vergadering van 26 mei 2016.

## *Beheer van de praktijkcode*

Commentaar of opmerkingen betreffende de opzet en/of de inhoud van deze praktijkcode kunnen per e-mail worden verzonden aan KWR Watercycle Research Institute:

[Martin.Meerkerk@kwrwater.nl](mailto:Martin.Meerkerk@kwrwater.nl). Indien van toepassing zal een en ander worden gebruikt als input voor een volgende editie van het document.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Introductie	7
1.2	Leeswijzer	7
1.3	Opmerkingen vooraf	7
<b>2</b>	<b>Rubber materialen en producten</b>	<b>9</b>
2.1	Uitvoering	9
2.2	Aard van het rubber	9
2.3	Chemische bestendigheid	9
2.4	Permeatie	9
2.5	Certificatie	10
<b>3</b>	<b>Metalen materialen en producten</b>	<b>11</b>
3.1	Aard van de materialen	11
3.2	Buizen	11
3.3	Verbindingen	11
3.4	Leidingen	11
<b>4</b>	<b>Cementgebonden materialen en producten</b>	<b>12</b>
4.1	Aard van de materialen	12
4.2	Buizen	12
4.3	Verbindingen	12
4.4	Leidingen	12
<b>5</b>	<b>Kunststof materialen en producten</b>	<b>13</b>
5.1	Aard van de materialen	13
5.2	Buizen	15
5.3	Verbindingen	16
5.4	Leidingen	18
5.5	Slotbeschouwing	18
<b>6</b>	<b>Modelberekeningen</b>	<b>20</b>
6.1	Permeatiemodel	20
6.2	Verdelingscoëfficiënten	21
6.3	Diffusiecoëfficiënten	21
<b>7</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>23</b>
7.1	Aanpak bestaande situaties in verband met (eventuele) permeatie	23
7.2	Selectie materiaal in verband met permeatierisico's	23
7.3	Verdere verbetering	25
<b>8</b>	<b>Literatuur</b>	<b>26</b>

<b>Bijlage I De beoordeling van permeatie door PE en PVC drinkwaterleidingen</b>	<b>29</b>
<b>Bijlage II Toepassingsgebied van GVK leidingsystemen</b>	<b>32</b>
<b>Bijlage III Permeatie-eigenschappen van materialen voor fittingen</b>	<b>39</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Introductie

Deze praktijkcode is er op gericht om in situaties van bodemverontreiniging kwalitatief en semi-kwantitatief vast te kunnen stellen of er in het geval van bestaande leidingen kans is op een negatief effect op de drinkwaterkwaliteit als gevolg van permeatie van organische stoffen door leidingmaterialen. Verder kan het document worden gehanteerd bij de keuze van materialen voor nieuw aan te leggen transport- en/of distributieleidingen in gebieden waar sprake is van een kans op bodemverontreiniging.

Deze praktijkcode is uitsluitend gericht op het aspect permeatie van organische stoffen. De gegevens in dit document kunnen worden gehanteerd als input ten behoeve van een 'multicriteria-analyse'.

Er is naar gestreefd het overzicht zo veel mogelijk compleet te maken door alle voor permeatie gecertificeerde leidingsystemen of onderdelen daarvan, hierbij te betrekken (stand van zaken begin 2016).

## 1.2 Leeswijzer

Als eerste wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op verbindingen met rubber afdichting(sring)en, omdat die verbindingen bij leidingsystemen van alle materialen worden toegepast. In de drie daarna volgende hoofdstukken worden leidingsystemen op basis van respectievelijk metaal, cement en kunststof ten aanzien van permeatie-eigenschappen geëvalueerd. Dat gebeurt steeds voor achtereenvolgens buizen, verbindingen en de leidingen. Na een korte beschouwing over modelberekeningen (hoofdstuk 6) wordt deze praktijkcode afgesloten met enkele aanbevelingen (hoofdstuk 7) voor de aanpak bestaande situaties in verband met (eventuele) permeatie en de selectie van materialen voor drinkwaterleidingen.

## 1.3 Opmerkingen vooraf

Vooraf wordt het volgende opgemerkt ten aanzien van met permeatie verband houdende aspecten.

### 1.3.1 Omstandigheden

Volgens Kiwa-Mededeling 85 [3] is de situatie waarbij sprake is van concentraties in water op het niveau van de maximale oplosbaarheid fysisch-chemisch gezien niet anders dan een pure chemische stof. Voor de praktijk ten aanzien van permeatie betekent dit concreet dat een situatie waarbij het grondwater de maximale oplosbaarheid van een stof heeft bereikt, dezelfde is als de situatie waarbij sprake is van een drijfslag van een bepaalde stof of de maximale concentratie van die stof in de bodemlucht (in de dampfase dus).

### 1.3.2 Bestrijdingsmiddelen en PAK's

In deze praktijkcode wordt voornamelijk ingegaan op vluchtige organische stoffen, zijnde de voor permeatie meest relevante groep. Aan minder of nauwelijks vluchtige stoffen als bestrijdingsmiddelen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) wordt beperkt aandacht besteed, omdat:

- Door de doorgaans slechte oplosbaarheid van dergelijke stoffen in water, in de praktijk van bodemverontreinigingen vaak sprake is van betrekkelijk lage concentraties;

- Bij (sterk) apolaire stoffen adsorptie aan humuszuren en/of (grond)deeltjes optreedt [11, 12], waardoor een (aanzienlijk) lagere concentratie voor permeatie beschikbaar is;
- Moleculen van dergelijke stoffen in het algemeen relatief groot zijn, waardoor de weerstand bij diffusie (tussen polymere ketens door) daarvan relatief groot en de stofstroom betrekkelijk gering is.

De permeatie van bestrijdingsmiddelen en PAK's door leidingmaterialen zal daarom niet snel in beeld zijn, maar kan op voorhand niet volledig worden uitgesloten.

### 1.3.3 Leidingssystemen

Een drinkwaterleiding bestaat doorgaans uit aan elkaar verbonden buizen, met gebruik van fittingen en/of hulpstukken, en appendages (brandkranen en afsluiters). Omdat ook door de verbindingen permeatie kan optreden, worden 'leidingssystemen' van diverse materialen in het voorliggende document geëvalueerd.

### 1.3.4 Certificatie

Bij 'derde partij certificatie' voldoet een geleverd product aan de criteria en eisen die in overleg tussen belanghebbende partijen zijn opgesteld. De naleving daarop wordt gecontroleerd door een onpartijdige en onafhankelijke derde partij: de certificatie-instelling. De criteria en eisen worden vastgelegd in een zogeheten beoordelingsrichtlijn (BRL).

Certificatie-instelling Kiwa Nederland heeft twee BRL's opgesteld voor leidingmaterialen waarbij 'permeatie' (en eigenlijk de weerstand tegen permeatie) als beoordelingscriterium met een bijbehorende grenswaarde is opgenomen [5, 6]. Daarnaast bestaat er nog een dergelijke concept-BRL [2]. Door middel van een certificaat op basis van een van die BRL's wordt een bepaalde permeatieweerstand of de 'impermeabiliteit' van een buis en/of leidingstelsel door een onafhankelijke partij aangetoond. De drie bewuste BRL's komen in dit document aan de orde.

## 2 Rubber materialen en producten

### 2.1 Uitvoering

Leidingen van verschillende materialen bestaan uit onderling verbonden buizen van een bepaalde lengte. Daarbij worden regelmatig op enige wijze verbindingen toegepast met rubber afdichting(sring)en (bijvoorbeeld flensverbindingen). De afdichtingen kunnen verschillende fysieke vormen hebben, bijvoorbeeld een pakkingring of O-ring.

### 2.2 Aard van het rubber

In de praktijk gaat het veelal om SBR (styreenbutadieen rubber) of EPDM (ethyleenpropyleendieen monomeer), maar de Kiwa-BRL K1 7504 [9] noemt daarnaast expliciet de volgende materialen:

- Natuurrubber (NR);
- Isopreen rubber (IR);
- Chloropreen rubber (CR);
- Nitrilbutadieen rubber (NBR);
- Ethyleenpropyleen monomeer (EPM);
- Isobutyleen-isopreen rubber (IIR).

### 2.3 Chemische bestendigheid

Uit resultaten van uitsluitend intern gerapporteerd permeatie-onderzoek door de toenmalige Hoofdafdeling Speurwerk van Kiwa met rubbers en pure organische stoffen (1986 – 1987) is gebleken dat vrijwel direct na het eerste contact tussen SBR en EPDM ringen aanzienlijke zwellingen kunnen optreden (tot zo'n 300% van de oorspronkelijke grootte!). In sommige gevallen bleken de rubbers die werden onderzocht na verloop van tijd zelfs uiteen te vallen. Het gaat dan met name om bepaalde vluchtige aromaten en gechlloreerde alifaten. Een en ander kan voor de praktijk betekenen dat aantasting van rubber afdichting(sring)en niet kan worden uitgesloten, met name in het geval van langere expositietijden. Drinkwaterbedrijven moeten er daarom rekening mee houden dat die aantasting kan leiden tot lekkage.

### 2.4 Permeatie

Bij de toepassing van rubber afdichting(sring)en is sprake van een bepaalde 'contactlengte' van die ringen met de omringende bodem. Doorgaans gaat het om een spleetbreedte van enkele mm's over de volledige omtrek van een leiding. Afhankelijk van de aard van een rubber en van de aard van in de bodem als verontreiniging aanwezige organische stoffen (onder andere polariteit) zal door die afdichting(sring)en in meer of mindere mate permeatie optreden.

Apolaire vluchtige stoffen permeëren doorgaans in betrekkelijk grote mate door rubber materialen. Op theoretische gronden wordt de permeatie van PAK's en bestrijdingsmiddelen door deze materialen niet uitgesloten.

De mate waarin permeatie optreedt, is tevens afhankelijk van de fysieke vorm van een verbinding. Vooral de lengte van de voor een permeant af te leggen weg naar het drinkwater (normaliter de wanddikte van een buis of hulpstuk) is bepalend.

Als gevolg van het relatief geringe contactoppervlak is er meestal sprake van een niet-significante vermindering van de drinkwaterkwaliteit, zeker in het geval van grotere diameters (relatief grote volumestroom en gunstige contactoppervlakte/volume-verhouding en dus lage concentraties). Bij rubbers die frequent in leidingssystemen voor drinkwater toepassing vinden, dient rekening te worden gehouden met een stofstroom (uitgedrukt in bijvoorbeeld  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{dag}$ ) die afhankelijk van de dikte van een afdichting(sring) aanzienlijk groter kan zijn dan die van dezelfde stof door PE (orde van grootte een factor 100).

## 2.5 Certificatie

Het aspect 'permeatie' maakt geen deel uit van de Kiwa-beoordelingsrichtlijn voor rubber afdichting(sring)en [9]. In § 2.3.4 'Resistance to chemicals' is de volgende eis geformuleerd: *'The rubber products have to be resistant to any chemicals drinking water can contain under usual circumstances.'* Een bijbehorende beproevingsmethode wordt in de BRL niet aangetroffen.

## 3 Metalen materialen en producten

### 3.1 Aard van de materialen

Metalen drinkwaterleidingen komen voor in staal, nodulair en lamellair gietijzer (inwendig gecementeerd of voorzien van een coating) en koper.

### 3.2 Buizen

De permeatie van organische stoffen door metalen leidingmaterialen en dus ook door buizen wordt op theoretische gronden uitgesloten [3]. Voor zover bekend, is permeatie door metalen leidingmaterialen ook nooit aangetoond.

### 3.3 Verbindingen

#### 3.3.1 Nodulair en lamellair gietijzer

In leidingen van nodulair en lamellair gietijzer zijn/worden verbindingen met behulp van rubber afdichting(sring)en toegepast. Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2.

#### 3.3.2 Staal

Het overgrote deel van de stalen leidingen blijkt te worden gelast, zodat er sprake is van een volledig metalen verbinding. Permeatie of diffusie door deugdelijke lasverbindingen zal niet optreden.

Soms worden in stalen leidingen verbindingen met behulp van rubber afdichting(sring)en toegepast. Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2.

#### 3.3.3 Koper

Koperen buizen worden aan elkaar gesoldeerd. Bij deugdelijke soldeerverbindingen is eveneens sprake van een volledig metalen verbinding, zodat er geen permeatie of diffusie kan optreden. Dat geldt ook voor de gevallen waarbij een knelkoppeling wordt toegepast. Voor de onderlinge verbinding van koperen buizen worden soms perskoppelingen gebruikt. Die koppelingen bevatten een rubber afdichting(sring). Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2.

### 3.4 Leidingen

In het geval van metalen leidingen met rubber afdichting(sring)en in met organische stoffen verontreinigde bodem moet rekening worden gehouden met permeatie door en eventuele aantasting van de ringen.

Bij gelaste stalen en gesoldeerde koperen leidingen is permeatie niet aan de orde.

## 4 Cementgebonden materialen en producten

### 4.1 Aard van de materialen

Bij cementgebonden<sup>2</sup> materialen gaat het in het geval van drinkwaterleidingen concreet om beton en asbestcement. Leidingen van laatstgenoemd materiaal worden sinds het begin van de jaren 90 van de vorige eeuw niet meer aangelegd. Voor asbestcement leidingen gaat het dus uitsluitend om de beoordeling van bestaande situaties.

### 4.2 Buizen

Door de eigenschappen van de materialen zal de permeatie van organische stoffen door buizen van asbestcement en beton onder praktijkomstandigheden verwaarloosbaar klein zijn, zodat dit niet tot relevante verontreiniging van het drinkwater zal leiden [3].

### 4.3 Verbindingen

Buizen van asbestcement en in sommige gevallen beton worden onderling verbonden door middel van verbindingen met rubber afdichting(sring)en. Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2.

Bij betonnen buizen met een plaatstalen kern loopt die stalen kern door, waarmee flens- of lasverbindingen worden gemaakt. Voor de permeatie-eigenschappen van metaal, zie hoofdstuk 3.

### 4.4 Leidingen

In het geval van betonnen en asbestcement leidingen waarbij rubber afdichting(sring)en zijn toegepast, zal uitsluitend permeatie optreden door de verbindingen (zie hoofdstuk 2). In het geval van betonnen leidingen met een plaatstalen kern zal er geen sprake van permeatie zijn (zie hoofdstuk 3).

---

<sup>2</sup> De 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' [13] hanteert het begrip 'cementproducten'. In het ontwerp van de herziening van die Regeling [23] wordt 'cementgebonden producten' gebruikt. Die aanduiding is in dit document overgenomen. Ook 'cementhoudend' werd/wordt soms gehanteerd.

## 5 Kunststof materialen en producten

### 5.1 Aard van de materialen

Hieronder worden eerst de gangbare thermoplastische materialen (PE (eventueel met aluminium barrière) en PVC) uitgewerkt. Daarna wordt ingegaan op de thermohardende materialen die als composiet ook wel worden aangeduid als 'GlasvezelVersterkte Kunststoffen' (GVK), waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen epoxy en polyester.

#### 5.1.1 Polyetheen (PE)

##### *Chemische bestendigheid*

PE vertoont bij blootstelling aan organische stoffen absorptie [3] en daardoor verandering van mechanische eigenschappen. Die verandering is niet zodanig dat er kans is op lekkage in het geval van een PE drinkwaterleiding.

##### *Permeatie-eigenschappen, kwalitatief*

PE vertoont een relatief grote interactie met apolaire stoffen [3]. Er moet in het algemeen vanuit worden gegaan dat organische stoffen die in de praktijk frequent als bodemverontreiniging blijken voor te komen (stoffen in autobrandstoffen en in reinigingsmiddelen van chemische wasserijen), reeds vanaf heel lage concentraties (in de orde grootte van enkele parts per billion,  $1 \cdot 10^{-9}$ ) permeatie vertonen. De mate waarin dat fenomeen optreedt, is afhankelijk van onder andere de polariteit en de molecuulgrootte van een stof.

Voor de volgende groepen van stoffen vertonen permeatie door PE met vermindering van de drinkwaterkwaliteit als gevolg:

- alle monocyclische aromatische koolwaterstoffen en dan met name degenen die in aanzienlijke mate voorkomen in benzines: benzeen, toluen, ethylbenzeen en de xylenen (BTEX);
- chloorbenzeen en alle gechloreerde alifatische koolwaterstoffen, en dan vooral die als oplosmiddel toepassing vinden bij chemische wasserijen: trichlooretheen ('tri'), tetrachlooretheen ('per') en tetrachloorkoolstof ('tetra');
- enkele alifaten (alkanen), die de meest vluchtige componenten van dieselolie zijn: heptaan, octaan en nonaan.

Voor een tweetal polycyclische aromatische koolwaterstoffen (naftaleen en antraceen) is permeatie door PE aangetoond (uitsluitend intern gerapporteerde onderzoeksresultaten van de toenmalige Hoofdafdeling Speurwerk van Kiwa van eind tachtiger jaren van de vorige eeuw). Op grond daarvan kan permeatie van alle PAK's en van vooral apolaire bestrijdingsmiddelen door PE op theoretische gronden niet worden uitgesloten.

Sinds medio de 90'er jaren van de vorige eeuw worden de stoffen MTBE (methyl-t-butylether) en ETBE (ethyl-t-butylether) toegepast als componenten van autobrandstoffen. Die stoffen zijn vervolgens ook als bodemverontreiniging in de belangstelling gekomen. In 2008 is een studie uitgevoerd naar de permeatie-eigenschappen van PE, PVC en asbestcement voor die stoffen [8]. Het betreffende rapport vermeldt 'signaalwaarden' (zie § 5.2.1) in grondwater bij

concentraties in drinkwater van 1 en 15 µg/l volgens de laatste twee kolommen van tabel 1, waarbij onderscheid is gemaakt tussen lage en hoge dichtheid PE (respectievelijk LDPE en HDPE<sup>3</sup>).

*Tabel 1 Afgeleide signaalwaarden van de stoffen MTBE en ETBE in grondwater bij een concentratie in drinkwater van 1 en 15 µg/l en de leidingen van de materialen LDPE en HDPE.*

Stof	Materiaal	Signaalwaarde (in grondwater) bij een concentratie in drinkwater van .....	
		1 µg/l	15 µg/l
MTBE	LDPE	306 µg/l	4.600 µg/l
	HDPE	4.600 µg/l	69.000 µg/l
ETBE	LDPE	110 µg/l	1.600 µg/l
	HDPE	1.650 µg/l	25.000 µg/l

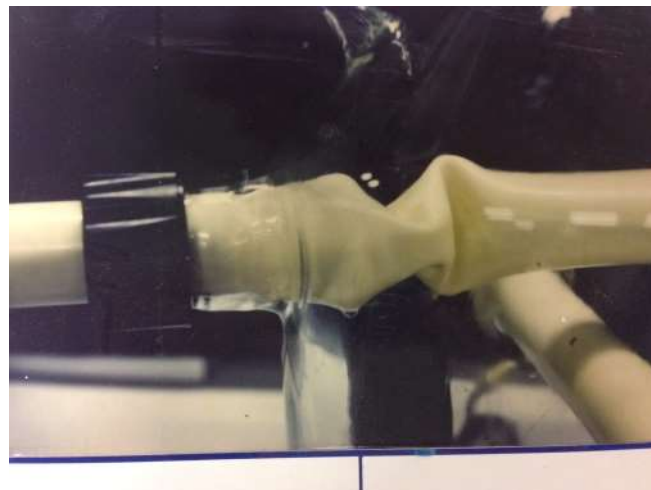
#### *Opmerking*

Een bijzonder geval van permeatie door PE is die van methaan. Deze organische stof wordt onder invloed van bacteriën vooral in anaerobe bodems (veenbodems met humuszuren) gevormd. Methaan kan door PE permeëren en zou op theoretische gronden kunnen bijdragen aan nagroei in drinkwaterleidingen.

### 5.1.2 Polyvinylchloride (PVC)

#### *Chemische bestendigheid*

In het geval van PVC blijkt er bij contact met organische stoffen geen significante absorptie op te treden tot aan de 'verweking' [3]. Als er verweking optreedt, gaat PVC van de 'glastoestand' over in de 'rubbertoestand' (zie onder, foto 1) en krijgt het materiaal geheel andere mechanische eigenschappen. PVC is in die omstandigheden daarom onvoldoende chemisch resistent. Het is de vraag in hoeverre het terecht is om dan van 'permeatie' te spreken; 'aantasting' of 'niet chemisch bestendig' lijkt reëler.



*Foto 1 Een door toluen in de dampfase verweekte PVC buis.*

#### *Permeatie-eigenschappen, kwalitatief*

Bij een verweekte PVC drinkwaterleiding bestaat de kans dat die onder invloed van de

<sup>3</sup> Dit zijn benamingen die vooral in het verleden werden gebruikt. De huidige benamingen zijn PE 40 respectievelijk PE 80 en PE 100.



inwendige waterdruk zal bezwijken. Vanuit het oogpunt van de drinkwaterkwaliteit kan de verweking van PVC drinkwaterleidingen worden gezien als een ingebouwde veiligheid: op het moment dat er significante permeatie kan optreden, bezwijkt een leiding. Het is echter ook denkbaar dat een geheel of gedeeltelijk verweekte PVC leiding in bepaalde grondpakketten (gedurende een bepaalde periode) intact blijft.

Verweking van PVC treedt vooral op bij aromaten en gechloreerde alifaten met percentages vanaf 10 of 25% van de maximale oplosbaarheid van die stoffen in water. In Waterwerkblad WB 2.2 B [18] zijn 'signaalwaarden' opgenomen voor grond en grondwater waarboven gevaar bestaat voor overschrijding van 'drinkwaterindicatiewaarden' (zie § 5.2.1). De bewuste tabel is integraal opgenomen in bijlage I van deze praktijkcode.

In het rapport van de eerder genoemde studie voor de stoffen MTBE en ETBE is beschreven dat de stoffen in concentraties van 10% van de maximale concentratie in (grond)water (respectievelijk 3.500 mg/l en 1.000 mg/l) of van de maximale dampconcentratie in (bodem)lucht en hoger PVC zullen verweken [8]. Bij lagere concentraties van die stoffen zal er geen significante permeatie optreden.

### 5.1.3 Glasvezelversterkte kunststoffen (GVK)

Permeatie in de zin van oplossen in het materiaal op het grensvlak leiding/bodem gevolgd door de diffusie van stoffen tussen polymere ketens door zoals bij thermoplastische materialen [3] is voor epoxy en polyester materialen op theoretische gronden niet mogelijk, gezien de driedimensionale polymere netwerkstructuren. De grote permeatieweerstand van epoxy is ook gebleken uit testen onder extreme condities in het kader van certificatie (zie § 5.2.3): significante permeatie is niet aangetoond.

## 5.2 Buizen

### 5.2.1 Polyetheen (PE)

De Waterwerkbladen hebben een wettelijk kader: de Drinkwaterwet [20] verwijst naar het Drinkwaterbesluit [1], waarin de norm NEN 1006 [21] expliciet wordt genoemd. De NEN 1006 stelt dat de Waterwerkbladen de uitwerking van die norm zijn. Waterwerkblad WB 2.2 C [10] verwijst '*Voor de beoordeling van de chemische bestendigheid .....*' naar bijlage I van dat werkblad. De kop van die bijlage 'Toetsingstabel voor de beoordeling van permeatie door PE drinkwaterleidingen' (zie bijlage I bij dit rapport) stelt het volgende: '*Signaalwaarden voor de grond en grondwater waarboven gevaar bestaat van overschrijding van drinkwaterindicatiewaarden.*' Aan het begin van Waterwerkblad WB 2.2 C [10] komen onder meer beschrijvingen voor van de twee gehanteerde begrippen:

- drinkwaterindicatiewaarde: '*Dit is de maximaal toegestane concentratie in drinkwater volgens EG richtlijnen. Deze concentratie zal niet worden overschreden als gekozen wordt voor een geschikt leidingmateriaal.*';
- signaalwaarde<sup>4</sup>: '*Dit is de maximaal toegestane concentratie van de verontreiniging in grondwater of grond waarbij permeatie plaatsvindt in het betreffende materiaal.*'

De beschrijving bij de laatste bullet is feitelijk onjuist: permeatie treedt ook op beneden de maximaal toegestane concentratie. Moleculen van bodemverontreinigende stoffen die interactie vertonen met PE zullen 'vanaf het eerste molecuul' in de polymere matrix op het grensvlak bodem/leiding worden opgenomen, waarmee een permeatieproces start. De mate waarin permeatie in een bepaalde situatie tot vermindering van de drinkwaterkwaliteit leidt, is mede afhankelijk van de geometrie van een leiding:

<sup>4</sup> In de regelgeving wordt hiervoor tegenwoordig het begrip 'risicogrenswaarde' gehanteerd.

- hoe groter de wanddikte, hoe groter de permeatieweerstand; en
- hoe groter de diameter, hoe lager het effect zal zijn op de concentratie van een gepermeëerde hoeveelheid stof in drinkwater.

#### *Polyetheen met aluminium barrière*

Sinds de tachtiger jaren van de vorige eeuw worden PE buizen vervaardigd die zijn voorzien van een barrièrelaag, doorgaans van aluminium maar ook van kunststoffen met grote permeatieweerstand. Bij buizen met aluminium barrière gaat het om een standaard PE buis, die is omwikkeld met aluminiumfolie: voor kleinere diameters wordt de folie er in de lengterichting omheen geslagen, voor grotere diameters wordt de folie er onder een bepaalde hoek omheen gewikkeld. In beide gevallen is er sprake van een 'overlap' of 'lijmrand'. De overlap wordt gelijmd (met een kunststof materiaal) of gelast dan wel gesoldeerd. De kwetsbare aluminium folie wordt beschermd tegen mechanische beschadiging door een gecoëxtrudeerde laag kunststof, meestal PE.

Door de aluminium folie is het voor permeatie beschikbare oppervlak van de buis fors beperkt (in het geval van toepassing van een kunststof materiaal in de overlap) of volledig uitgesloten (bij het adequaat lassen of solderen van de overlap). Bij een kunststof materiaal in de overlap is door de wijze van wikkeling bovendien de voor een permeant af te leggen weg van de buitenkant naar het drinkwater vergroot. Door deze maatregel wordt de permeatie door de wand nog verder beperkt.

#### **5.2.2 PVC, bi-axiaal verstrekt**

Behalve van het 'normale' PVC worden er sinds eind jaren negentig van de vorige eeuw ook buizen van 'bi-axiaal verstrekt' PVC vervaardigd. Het verschil tussen beide PVC typen is uitsluitend fysisch van aard (verstreekte polymeerketens). Voor de eigenschappen in contact met organische stoffen (chemische bestendigheid en permeatie) betekent dit dat er geen onderscheid tussen beide PVC typen is te verwachten.

#### **5.2.3 Glasvezelversterkte kunststoffen (GVK)**

Buizen van epoxy hebben een relatief grote permeatieweerstand (zie § 5.1.3) en dat geldt zeker ook voor een speciale versie die is voorzien van een aluminium barrièrelaag. Sinds de negentiger jaren van de vorige eeuw is er een voor permeatie gecertificeerd leidingsysteem van GVK (epoxy) op de markt. Volgens de van toepassing zijnde Kiwa-beoordelingsrichtlijn [6] is het systeem toepasbaar tot (zeer) hoge concentraties aan (an)organische stoffen (zie bijlage II). Het gaat om het leidingsysteem 'Wavistrong EDT' van de firma Future Pipe Industries B.V. Voor actuele informatie over gecertificeerde leidingsystemen wordt verwezen naar de website van certificatie-instelling Kiwa Nederland, [www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl) (de onder BRL-K532 [6] gecertificeerde bedrijven en producten).

### **5.3 Verbindingen**

#### **5.3.1 Polyetheen (PE)**

De van toepassing zijnde Kiwa-beoordelingsrichtlijn [15] onderscheidt verbindingen voor PE leidingsystemen als volgt:

- Mechanische verbindingen:
  - Met een 'fittinghuis' van kunststof:
    - Van PE;
    - Van POM (polyoxymethyleen of polyacetaal, polymeer van formaldehyde);
    - Van PP (polypropreen);
  - Met metalen hulpstukken (koperlegeringen);

- Lasverbindingen:
  - Via stuiklassen;
  - Via elektrolassen.

#### 5.3.1.1 Met een fittinghuis van kunststof

Bij alle kunststof klemfittingen wordt de eigenlijke afdichting gerealiseerd met behulp van een rubber afdichting(sring). Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2.

Bij de toepassing van kunststof fittingen kan ook door het huis zelf permeatie optreden. De mate waarin dat zal gebeuren, is ook dan weer materiaal- en stofafhankelijk. In bijlage 3 van deze praktijkcode is een evaluatie opgenomen van de verschillende materialen die worden toegepast: PE, POM en PP. Daarnaast blijken in de praktijk van de Nederlandse drinkwaterbedrijven tevens PA (polyamide) hulpstukken te worden toegepast. De permeatieweerstand van PE blijkt steeds lager te zijn dan die van de andere kunststof materialen. Dat impliceert dat de toepassing van die andere materialen bij PE leidingen in absolute zin zal zorgen voor een mindere mate van permeatie.

#### 5.3.1.2 Met metalen hulpstukken

Volgens de BRL [15] worden metalen hulpstukken toegepast voor PE buizen  $\leq 63$  mm (uitwendige diameter). Volgens hoofdstuk 3 zal permeatie door metaal niet optreden. Ook bij metalen hulpstukken wordt echter een rubber afdichting(sring) toegepast. Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2.

#### 5.3.1.3 Lasverbindingen

Lasverbindingen worden toegepast in PE leidingen  $\geq 20$  mm. Bij lassen wordt PE materiaal aan elkaar gesmolten en bij die verbindingen is dus uitsluitend sprake van contact met dit materiaal. De BRL [15] stelt de volgende eis: *'De wanddikte van de hulpstukken moet ..... en moet op ieder punt groter of gelijk zijn aan  $e_{min}$  van bij behorende buis.'* Aangezien ' $e_{min}$ ' de minimale wanddikte is, zal de permeatieweerstand van gelaste PE leidingen met deze eis altijd ten minste gelijk zijn aan die van de toegepaste buis. Voor een PE leiding met lasverbindingen kan daarom voor een inschatting van de mate van permeatie worden volstaan met een beschouwing van de buis.

#### 5.3.1.4 Speciale verbindingen voor polyethen met aluminium barrière

Omdat het bij 'PE/barrière buizen' qua maatvoering om specifieke buizen gaat (grotere uitwendige diameter dan 'normale' PE buizen), is het noodzakelijk dat speciale hulpstukken beschikbaar zijn. In de praktijk van de Nederlandse drinkwaterbedrijven blijken die niet altijd te worden gebruikt. Soms wordt de gecoëxtrudeerde buitenlaag verwijderd ('afgeschild'), zodat reguliere verbindingen (en hulpstukken) kunnen worden toegepast.

### 5.3.2 Polyvinylchloride (PVC)

Buizen van zowel normaal als bi-axiaal verstrekt PVC worden verbonden door hulpstukken van normaal PVC. De hulpstukken hebben dezelfde permeatie-eigenschappen als de buizen. Ook POM hulpstukken worden toegepast ten behoeve van PVC leidingen. De permeatieweerstand van POM hulpstukken wordt lager ingeschat dan die van PVC hulpstukken (zie bijlage III), zodat de permeatieweerstand van een PVC leiding met POM hulpstukken in absolute zin lager zal zijn dan die van een PVC leiding met dito hulpstukken.

Volgens de van toepassing zijnde Kiwa-beoordelingsrichtlijn [19] zijn er PVC lijmfittingen in de range van 12 - 160 mm, die worden toegepast met daarvoor bedoelde lijmen (opgelost PVC materiaal). PVC lijmverbindingen zullen daardoor dezelfde permeatie-eigenschappen hebben als het materiaal van de buizen en de eigenlijke hulpstukken. Voor diameters groter

dan of gelijk aan 50 mm tot en met 630 mm worden in de eigenlijke hulpstukken verbindingen met rubber afdichting(sring)en toegepast. Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2.

### 5.3.3 Glasvezelversterkte kunststoffen (GVK)

Epoxy en polyester buizen worden verbonden met behulp van hulpstukken van hetzelfde materiaal en die hebben daarom dezelfde permeatie-eigenschappen als de buizen. Het gaat bij GVK leidingsystemen om lijmverbindingen of verbindingen met rubber afdichting(sring)en. In verband met zettingen in de bodem in combinatie met de relatief lage elasticiteit van GVK buizen zullen naar verwachting doorgaans laatstgenoemde verbindingen worden toegepast. Voor de permeatie-eigenschappen van rubber, zie hoofdstuk 2. Bij lijmverbindingen wordt gebruik gemaakt van epoxy respectievelijk polyester lijmen. Deze lijmen zullen vergelijkbare permeatie-eigenschappen als de buizen en hulpstukken hebben.

## 5.4 Leidingen

### 5.4.1 Polyetheen (PE)

Op basis van de geometrie van PE leidingen en in tegenstelling tot PVC (zie § 5.1.2) is het niet realistisch om de permeatie-eigenschappen van PE als materiaal te beschouwen, maar wordt aanbevolen om op basis van modelberekeningen situationeel de risico's voor de drinkwaterkwaliteit semi-kwantitatief te voorspellen (zie hoofdstuk 6). Gezien de kosten die in een bestaande situatie met de realisatie van een alternatief zijn gemoeid, wordt de aanbeveling gedaan om bij een te grote voorspelde kwaliteitsvermindering van het drinkwater in eerste instantie waterkwaliteitsbeoordeling te overwegen na bijvoorbeeld een nacht stilstand.

Uit bijlage III blijkt dat de permeatieweerstand van POM, PP en PA hulpstukken doorgaans groter zal zijn dan die van PE hulpstukken, zodat een risico-inschatting met betrekking tot permeatie zich kan richten op een volledig in PE uitgevoerde drinkwaterleiding.

### 5.4.2 Polyvinylchloride (PVC)

Gelijmde leidingen van zowel normaal als bi-axiaal verstrekt PVC beschikken over een betrekkelijk hoge permeatieweerstand. Met name hogere concentraties aromaten en gechloroerde alifaten in de bodem vormen een permeatierisico. Voor lage(re) concentraties van die stoffen is het risico vrij beperkt.

Bij PVC leidingen waarin rubber afdichting(sring)en zijn toegepast, vormen die ringen de zwakste schakel.

### 5.4.3 Glasvezelversterkte kunststoffen (GVK)

Voor gelijmde GVK leidingen geldt dat die over een grote mate van permeatieweerstand beschikken. Dat is zeker het geval bij de toepassing van epoxy buizen waarin aluminium folie als extra barrière is opgenomen.

Bij de toepassing van rubber afdichting(sring)en geldt hetzelfde als voor PVC leidingen, maar dan in nog sterkere mate.

## 5.5 Slotbeschouwing

### 5.5.1 Voor permeatie gecertificeerde leidingsystemen

Het 'WaVe SLA leidingsysteem' (Safety Line Aluminium) van de firma Conval Nederland B.V. (waarvan de buis wordt vervaardigd door de Duitse firma Egeplast) is begin 2016 het enige

leidingsysteem dat door certificatie-instelling Kiwa Nederland op basis van de beoordelingsrichtlijn BRL-K17101 [5] voor permeatie is gecertificeerd. Deze Kiwa-beoordelingsrichtlijn heeft als toepassingsgebied 'klasse II' (§ 0.9 'Classificatie'): *'KLASSE II leidingsystemen moeten geïnstalleerd worden in gebieden waar de bodemverontreinigingen (zeer waarschijnlijk) hoger zijn dan de interventiewaarde. In dit geval spreekt men van een ernstige bodemverontreiniging.*

*Gemiddelde concentraties hoger dan 10-15 % van de verzadigingswaarde worden in de praktijk zelden gevonden, maar omdat de verontreinigingen niet homogeen in de bodem verdeeld zijn worden de leidingsystemen beproefd op hun permeatiegedrag bij een concentratie van 60 % van de verzadigingswaarde van de modelstof.*

*Opmerking:*

*Omdat 15% een waarde is die veel hoger ligt dan gemeten praktijkwaardes, worden hiermee de meest voorkomende verontreinigingen afdoende afgedekt'*

Op grond van de resultaten van een in het verleden in het kader van de certificatie op laboratoriumschaal uitgevoerde test onder extreme condities is dit toepassingsgebied gebleken. Bij dit leidingsysteem blijkt bij voor de praktijk extreme concentraties een geringe permeatie te kunnen optreden.

In het algemeen betekent toepassing tot aan de 'interventiewaarde' dat dit leidingsysteem kan worden toegepast in stedelijke gebieden. Voor gebieden waar grotere concentraties van bodemverontreiniging kunnen voorkomen, wordt drinkwaterbedrijven geadviseerd systemen met een hogere permeatieweerstand toe te passen.

*Het 'WaVe SLA leidingsysteem'*

Bij het 'WaVe SLA leidingsysteem' worden speciaal voor dit doel ontwikkelde messing perskoppelingen toegepast [26]. Volgens het 'Technisch handboek' [26] zijn er ook mogelijkheden voor spiegelglas- en electrolasverbindingen.

### 5.5.2 Onderscheid tussen PVC en PE/Al

Uit bovenstaande beschrijvingen van PVC en PE met aluminium barrière zou kunnen worden afgeleid dat het leidingsysteem 'PE met aluminium barrière' minder geschikt is voor toepassing in verontreinigde bodem dan PVC. PVC leidingmaterialen (buizen en eigenlijke hulpstukken) zouden zonder problemen toepasbaar zijn tot 10% van de maximale oplosbaarheid van een stof in water terwijl het PE leidingsysteem met aluminium barrière een toepassingsgebied 'klasse II' heeft (zie § 5.5.1).

PVC leidingsystemen zijn niet voor permeatie gecertificeerd en derhalve is er geen rekening gehouden met een veiligheidsmarge in verband met garantie van 50 jaar betrouwbare drinkwaterkwaliteit! Bovendien wordt nogmaals gewezen op de relatief slechte permeatie-eigenschappen van leidingsystemen met rubber afdichting(sring)en ten opzichte lijmverbindingen.

## 6 Modelberekeningen

### 6.1 Permeatiemodel

De concentratie in drinkwater als gevolg van de permeatie van een organische stof door de volledige wand van een kunststof drinkwaterleiding in de 'stationaire toestand' (een lineair concentratieprofiel in die wand, zodat in- en uittredende stofstroom gelijk zijn) is modelmatig te beschrijven met de vergelijking<sup>5</sup>:

$$C_w = 4 * D * K_w * C_0 * \Delta t / (e * d_i)$$

In deze vergelijking is:

D = diffusiecoëfficiënt (m<sup>2</sup>/s);

K<sub>w</sub> = verdelingscoëfficiënt in de waterfase (-);

C<sub>0</sub> = concentratie van de organische stof in het grondwater (µg/l);

Δt = tijdsduur (s);

e = dikte van de wand van een leiding (m);

d<sub>i</sub> = inwendige diameter van een leiding (m);

C<sub>w</sub> = concentratie van een verontreinigende stof in drinkwater (µg/l).

Gegeven een bepaalde situatie waarbij de aard en mate van een bodemverontreiniging en de aard van een daarbij betrokken drinkwaterleiding bekend zijn, volgen daaruit de waarden voor de parameters C<sub>0</sub>, e en d<sub>i</sub>. De beide permeatiecoëfficiënten kunnen worden verkregen vanuit de literatuur of (modelmatig) worden afgeleid aan de hand van de volgende twee paragrafen. Vervolgens kan voor een bepaalde stagnatietijd Δt (bijvoorbeeld 1 nacht (8 uur)) de concentratie in drinkwater worden berekend.

Voor de berekening van de permeatie door een gedeelte van een drinkwaterleiding (bijvoorbeeld uitsluitend door een rubber afdichtingsring) kan gebruik worden gemaakt van de vergelijkingen 2.14 en 2.15 uit [3]:

$$Q = D * K_w * C_0 / e$$

Daarin is:

D = diffusiecoëfficiënt (m<sup>2</sup>/s);

K<sub>w</sub> = verdelingscoëfficiënt in de waterfase (-);

C<sub>0</sub> = concentratie van de organische stof in het grondwater (µg/l);

<sup>5</sup> Deze vergelijking is gebaseerd op de vergelijkingen 2.14 en 2.15 volgens Kiwa-Mededeling 85 [3], in combinatie met de oppervlakte/volume-verhouding van een buis.

$e$  = de voor een permeant af te leggen weg, 'fictieve wanddikte' (m);

$Q$  = stofstroom ( $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ).

Via het beschikbare contactoppervlak en een bepaalde de stagnatietijd kan de absolute hoeveelheid van de permeant naar het drinkwater worden bepaald. Op basis van de inwendige diameter van een leiding kan vervolgens de maximaal te bereiken concentratie worden berekend.

## 6.2 Verdelingscoëfficiënten

Voor de verdelingscoëfficiënt van een specifieke organische stof kan een literatuurwaarde worden gehanteerd of moet (op basis van literatuurgegevens) een schatting worden gemaakt. Deze coëfficiënt is afhankelijk van de affiniteit van een materiaal voor die stof: een grote interactie betekent een grote en een geringe interactie betekent een kleine waarde voor de verdelingscoëfficiënt. Voor een beperkt aantal stoffen is een literatuurwaarde bekend [3].

## 6.3 Diffusiecoëfficiënten

Ook voor de diffusiecoëfficiënt kan een literatuurwaarde worden gehanteerd [3]. Een andere mogelijkheid is een materiaalspecifieke berekening op basis van temperatuur en molecuulgrootte.

Sinds het begin van het huidige millennium is in Europese regelgeving het gebruik toegestaan van '*generally recognised diffusion models*' ten behoeve van migratie van stoffen uit verpakkingsmiddelen naar het verpakte voedsel [14]. De diffusie van een organische stof door een polymere matrix wordt onafhankelijk van de aard van een proces (migratie of permeatie) verondersteld, zodat het model ook voor de berekening van diffusiecoëfficiënten in het onderhavige kader bruikbaar is:

$$D_p = \exp[A_p - 0,1351 * M_r^{2/3} + 0,003 * M_r - 10.454 / T] \text{ met } A_p = A'_p - \tau / T$$

Daarin is:

$A'_p$  = een polymeerspecifiek 'diffusie geleidingsvermogen', volgens onderstaande tabel;

$\tau$  = een polymeerspecifieke 'activeringsenergie', volgens onderstaande tabel;

$T$  = de temperatuur (K);

$M_r$  = de relatieve molecuulmassa van een stof (D);

$D_p$  = de polymeerspecifieke maximale diffusiecoëfficiënt ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), dat wil zeggen dat het gebruik van deze diffusiecoëfficiënt leidt tot worst case waarden.

Voor verschillende kunststof materialen gelden de volgende waarden [14]:

materiaal	$A'_p$	$\tau$
LDPE/LLDPE (= (Lineair) Lage Dichtheid PolyEtheen), PE 40	11,5	0
HDPE (= Hoge Dichtheid PolyEtheen), PE 80	14,5	1.577
PP (Polypropeen), homo en random	13,1	1.577
PVC	-1 (worst case) -4 (te verwachten)	0

Met deze gegevens kan op vrij eenvoudige wijze een schatting worden gemaakt van de diffusiecoëfficiënt van een organische stof in een bepaalde polymere matrix.

*Opmerking*

Opgemerkt wordt dat het bovenstaande model sinds medio 2011 tevens onderdeel uitmaakt van de Nederlandse wet- en regelgeving rond de toelaatbaarheid van materialen in contact met drinkwater [13].



## 7 Aanbevelingen

### 7.1 Aanpak bestaande situaties in verband met (eventuele) permeatie

De in deze praktijkcode opgenomen informatie is ontleend aan en/of gebaseerd op gegevens van door Kiwa te Nieuwegein (inmiddels KWR Watercycle Research Institute) vooral in de tachtiger jaren van de vorige eeuw verricht onderzoek of afkomstig uit de literatuur en daarop gebaseerde schattingen. Zeker op grond van die schattingen kan deze praktijkcode echter niet 'waterdicht' zijn. In geval van permeatie in een bepaalde situatie wordt het monitoren van de drinkwaterkwaliteit sterk aanbevolen. In het begin moet dit in dat geval betrekkelijk intensief worden gedaan. Op grond van de analysesresultaten die in de loop van de tijd worden geproduceerd, kan dan worden besloten om de frequentie van metingen eventueel aan te passen.

### 7.2 Selectie materiaal in verband met permeatierisico's

De toepasbaarheid van leidingen van een bepaald materiaal in met organische stoffen verontreinigde bodem op basis van de weerstand tegen permeatie kan worden samengevat (kwalitatief) volgens tabel 2 [25]. Er is in die tabel onderscheid gemaakt tussen buizen en eigenlijke hulpstukken (indien van toepassing) enerzijds, en de diverse mogelijke verbindingen anderzijds. Bij alle verbindingen wordt ervan uitgegaan dat die bij de aanleg adequaat worden gerealiseerd.

De tabel is zodanig opgezet dat er grosso modo sprake is van afnemende permeatieweerstand. De daarin gehanteerde begrippen hebben de volgende betekenis (in willekeurige volgorde):

- 'SW': de streefwaarde uit de 'Circulaire bodemsanering' [24];
- 'IW': de interventiewaarde uit de 'Circulaire bodemsanering' [24];
- '>>': 'veel groter dan' (de interventiewaarde);
- '>': 'boven' of 'groter dan' (de interventiewaarde);
- 'met afdichtingsring': er wordt een rubber afdichting(sring) toegepast, waardoor permeatie kan/zal optreden.

Afhankelijk van de aard van een organische stof en van de aard van een afdichting(sring) zal door die ring in meer of mindere mate permeatie optreden. Het relatief geringe contactoppervlak van de ring met de omringende bodem zorgt doorgaans voor een niet-significante vermindering van de drinkwaterkwaliteit, zeker in het geval van grote(re) diameters (gunstige oppervlakte/volume-verhouding en relatief grote volumestroom met lage concentraties in drinkwater als gevolg). Afhankelijk van de precieze condities (behalve aard rubber materiaal, diameter leiding en spleetbreedte is dat de geometrie van de verbinding, dat wil zeggen de voor een permeant naar het drinkwater af te leggen weg) dient hiermee rekening te worden gehouden.

- MAK's: Monocyclische Aromatische Koolwaterstoffen;
- CKW's: gechlloreerde (Chloor)KoolWaterstoffen;
- PAK's: Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen;
- BM's: BestrijdingsMiddelen.

Tabel 2 Materialen voor drinkwaterleidingen met afnemende permeatieweerstand (globaal).

Materiaal	Permeatieweerstand leidingstelsel in contact met organische stoffen	
	Buis (en fitting/hulpstuk)	Verbinding <sup>6</sup>
<b>Metalen:</b>		
Staal	alle stoffen >> IW	lasverbinding: alle stoffen >> IW
Nodulair en grijs gietijzer	alle stoffen >> IW	spie-mof-verbinding: met afdichtingsring
Koper	alle stoffen >> IW	<ul style="list-style-type: none"> <li>soldeerverbinding: alle stoffen &gt;&gt; IW</li> <li>knelfverbinding: alle stoffen &gt;&gt; IW</li> <li>persverbinding: met afdichtingsring</li> </ul>
<b>Cementgebonden materialen:</b>		
Beton	alle stoffen >> IW	<ul style="list-style-type: none"> <li>lasverbinding (gelaste kern): alle stoffen &gt;&gt; IW</li> <li>spie-mof-verbinding: met afdichtingsring</li> </ul>
Asbestcement	alle stoffen >> IW	spie-mof-verbinding: met afdichtingsring
<b>Kunststof:</b>		
Epoxy met aluminium barrièrelaag	alle stoffen >> IW	lijmverbinding: alle stoffen > IW <i>Opmerking:</i> verbindingen met afdichtingsringen mogen niet worden toegepast
Epoxy	alle stoffen >> IW	<ul style="list-style-type: none"> <li>lijmverbinding: alle stoffen &gt; IW</li> <li>klemverbinding: met afdichtingsring</li> </ul>
Polyester	alle stoffen >> IW	<ul style="list-style-type: none"> <li>lijmverbinding: alle stoffen &gt; IW</li> <li>klemverbinding: met afdichtingsring</li> </ul>
PVC	MAK's en CKW's tot en met IW Overige stoffen > IW	<ul style="list-style-type: none"> <li>lijmverbinding: MAK's en CKW's tot en met IW en overige stoffen &gt; IW</li> <li>klemverbinding: met afdichtingsring</li> </ul>
PE met gelaste of gesoldeerde aluminium barrièrelaag	alle stoffen > IW	Specifieke hulpstukken/verbindingen (maatwerk): alle stoffen tot en met IW
PE met gelijmde aluminium barrièrelaag	alle stoffen tot en met IW	Specifieke hulpstukken/verbindingen (maatwerk): alle stoffen tot en met IW
PE	MAK's, PAK's, CKW's en BM's tot SW	<ul style="list-style-type: none"> <li>klemverbinding metaal: met afdichtingsring</li> </ul>

<sup>6</sup> In het geval van verbindingen met een of meer rubber afdichting(sring)en is in deze kolom 'met afdichtingsring' weergegeven. Overeenkomstig hoofdstuk 2 van dit document impliceert dit de permeatie van organische stoffen.

	Overige polaire stoffen tot IW <sup>7</sup>	<ul style="list-style-type: none"><li>• klemverbinding kunststof: met afdichtingsring</li><li>• lasverbinding (stuik- en electro(mof)lassen): zie '<b>Buis (en fitting/hulpstuk)</b>'</li></ul>
--	---	---

### 7.3 Verdere verbetering

Het structureel en gecentraliseerd opslaan van analyseresultaten van permeatiegevallen wordt aanbevolen: op termijn kan dit bijdragen aan de kennisontwikkeling op het gebied van drinkwaterleidingen in verontreinigde bodem.

<sup>7</sup> Bij PE drinkwaterleidingen in verontreinigde bodem kan de interventiewaarde als eerste indicatie voor een mogelijk permeatiegeval worden beschouwd.

## 8 Literatuur

Voor de totstandkoming van deze praktische praktijkcode zijn diverse literatuurbronnen geraadpleegd die niet allemaal expliciet zijn genoemd in het voorgaande.

- [1] Staatsblad 2011: 'Drinkwaterbesluit' van 23 mei 2011, nummer 293, 21 juni 2011
- [2] Kiwa N.V. Certificatie en Keuringen (2002): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa attest-met-productcertificaat voor meerlaags PE leidingssystemen KLASSE I, met barrièrelaag tegen verontreinigingen, voor transport van drinkwater', concept-BRL-K17102, Rijswijk
- [3] Vonk, M.W. (1985): 'Permeatie van organische verbindingen door leidingmaterialen', Mededeling nummer 85, Nieuwegein (KIWA N.V.)
- [4] Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer: 'Richtlijn voor de beoordeling van verontreinigingen in drinkwater als gevolg van permeatie', publikatie 85-02, 's-Gravenhage (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer)
- [5] Kiwa Nederland B.V. (2012): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa attest-met-productcertificaat voor meerlaags PE leidingssystemen KLASSE II, met aluminium barrièrelaag tegen verontreinigingen, voor transport van drinkwater', BRL-K17101, 1 februari 2012, Rijswijk
- [6] Kiwa Nederland B.V. (2012): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor Glasvezelversterkte epoxy leidingssystemen met gewikkelde buizen voor het transport van drinkwater door al of niet verontreinigde grond', BRL K532, Rijswijk
- [7] Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne (1989): 'Voorlopige inspectie richtlijn blootstellingsrisico bij bodemverontreiniging', (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer).
- [8] Meerkerk, M.A. (2008): 'De permeatie van MTBE en ETBE door PVC, PE en AC leidingmaterialen; Mechanismen, berekeningen en signaalwaarden', rapport KWR 08.022, Nieuwegein (Kiwa Water Research in opdracht van SenterNovem Bodem+)
- [9] Kiwa N.V. Certificatie en Keuringen (2009): 'Evaluation Guideline for the Kiwa product certificate for vulcanised rubber products for cold and hot drinking water applications', BRL K17504/02 met wijzigingsblad van 22 mei 2012, Rijswijk
- [10] Waterwerkblad WB 2.2 C (2004): 'Leidingmaterialen; Buizen van PE', Waterwerkbladen op [www.infodwi.nl](http://www.infodwi.nl)
- [11] Blokker, E.J.M., Ven, B.M. van der, Tankerville, M., en Mesman, G.A.M. (2010): 'Invloed coating grijs gietijzeren leidingen op drinkwaterkwaliteit', BTO 2010.044, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein

- [12] Blokker, E.J.M., Ven, M. van der, Jongh, C.M. de, en Slaats, P.G.G. (2013): 'Health Implications of PAH Release from Coated Cast Iron Drinking Water Distribution Systems in the Netherlands', *Environmental Health Perspectives*, number 121, page 600 – 606
- [13] Staatscourant 2011: 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' van 29 juni 2011, nr. 11911, 18 juli 2011
- [14] Simoneau, C., e.a. (2010): 'Applicability of generally recognised diffusion models for the estimation of specific migration in support of EU Directive 2002/72/EC', ISBN 978-92-79-16586-3, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Luxembourg
- [15] Kiwa Nederland B.V. (2012): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa product certificaat voor kunststof leidingssystemen van PE (Polyetheen) voor transport van drinkwater en ruw water', BRL-K17105-01, Rijswijk
- [16] Meerkerk, M.A. (1998): 'Leidraad voor de toepassing van kunststof leidingmaterialen in verontreinigde bodem', notitie, Kiwa Water Research, Nieuwegein
- [17] Meerkerk, M.A. (2010): 'Leidraad voor de toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodem', KWR 2010.053, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [18] Waterwerkblad WB 2.2 B (2004): 'Leidingmaterialen; Buizen van PVC (ongeplastificeerd polyvinylchloride), hulpstukken en verbindingen', Waterwerkbladen op [www.infodwi.nl](http://www.infodwi.nl)
- [19] Kiwa Nederland B.V. (2007): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor Leidingssystemen van PVC voor transport van drinkwater en ruw water', BRL-K17301, 24 juli 2007, Rijswijk
- [20] Staatsblad 2009: 'Drinkwaterwet' van 18 juli 2009, nummer 370, 3 september 2009
- [21] NEN 1006:2015: 'Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties', Nederlands Normalisatie-instituut, 1 september 2015, Delft
- [22] Dolezel, B. (1978): 'Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi', Carl Hanser Verlag, München en Wenen
- [23] Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2014): 'Regeling tot wijziging van de Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening (technische aanpassingen 2015)', ontwerp van 17 december 2014
- [24] Staatscourant 2013: 'Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013', nummer 16675, 27 juni 2013
- [25] Bonte, M., en Meerkerk, M.A. (2010): 'Bodemverontreinigingen en risico's voor drinkwatervoorziening', BTO 2010.053 (s), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein
- [26] Conval Nederland BV (2013): 'Technisch handboek voor het S.L.A. leidingstelsel', Boxtel



# Bijlage I De beoordeling van permeatie door PE en PVC drinkwaterleidingen

De twee navolgende pagina's bevatten drinkwaterindicatie- en signaalwaarden voor respectievelijk PE en PVC.

Pagina 5 van 9	WATERWERKBLAD	WB 2.2 C	
<b>BIJLAGE I</b>			
<b>Toetsingstabel voor de beoordeling van permeatie door PE drinkwaterleidingen.</b>			
Signaalwaarden voor de grond en grondwater waarboven gevaar bestaat van overschrijding van drinkwaterindicatiewaarden.			
<b>PE-BUIZEN</b>			
Organische verbinding	Drinkwater indicatiewaarden ug/l	Signaalwaarde Grondwater ug/l	PE-buizen Grond mg/kg
<b>Aromaten</b>			
Benzeen	0,5	10	0,1
Tolueen	0,5	15	0,25
Xylenen	0,5	10	0,1
1,3,5-trimethylbenzen	0,5	3	0,1
ethylbenzeen	0,5	10	0,5
propylbenzeen	0,5	10	2
pentylbenzen	0,5	10	2
<b>Gechloroerde koolwaterstoffen</b>			
1,1,1-trichloorethaan	0,5	10	0,5
trichlooretheen	0,5	10	0,01
tetrachlooretheen	0,5	25	0,1
tetrachloormethaan	0,5	20	1
1,2-dischloorethaan	0,5	20	0,2
1,2-dischloorpropaan	0,5	20	0,2
chloorbenzeen	0,5	5	0,3
<b>Olie totaal</b>			
hexaan	1,0	10	10
octaan	1,0	10	10
nonaan	1,0	10	10
<b>Pesticiden totaal</b>			
Lindaan (gamma-HCH)	0,05	5	5
Aldrin	0,05	5	5
Dieldrin	0,05	5	5
DDE	0,05	5	5
DDT	0,05	5	5
<b>PCA's (6 van Bornef)</b>			
bifenyyl	0,025	2,5	20
naftaleen	0,005	0,5	0,5
antraceen	0,005	0,5	5
fenantreen	0,005	0,5	10
<b>Fenolen totaal</b>			
Fenol	0,5	10	10
2,4,6-trichloorfenol	0,5	23000	45
pchlorfenol	0,5	35	5
pentachloorfenol	0,5	4000	5
		10	5
<b>Bron: Voorlopige Inspectierichtlijn:</b>			
Blootstellingsrisico bij bodemverontreiniging. Ministerie van VROM 1989.			



Pagina 8 van 10		WATERWERKBLAD		WB 2.2 B	
<b>BIJLAGE I</b>					
<b>Toetsingstabel voor de beoordeling van permeatie door PVC drinkwaterleidingen.</b> Signaalwaarden voor de grond en grondwater waarboven gevaar bestaat van overschrijding van drinkwaterindicatiewaarden.					
<b>PVC-BUIZEN</b>					
Organische verbinding	Drinkwater Indicatiewaarden µg/l	Signaalwaarde PVC-buizen			
		Grondwater µg/l	Grond mg/kg		
<b>Aromaten</b>					
Benzeen	0,5	450.000	2.000		
Tolueen	0,5	125.000	2.000		
Xylenen	0,5	50.000	3.000		
1, 3, 5-trimethylbenzeen	0,5	5.000	3.000		
Ethylbenzeen	0,5	40.000	2.000		
Propylbenzeen	0,5	15.000	3.000		
Pentylbenzeen	0,5	geen	geen		
<b>Gechloreerde koolwaterstof</b>					
1, 1, 1-trichloorethaan	0,5	1.100.000	30.000		
Trichlooretheen	0,5	275.000	500		
Tetrachlooretheen	0,5	40.000	400		
Tetrachloormethaan	0,5	geen	geen		
1, 2-dichloorethaan	0,5	850.000	2.500		
1, 2-dichloorpropaan	0,5	275.000	1.000		
Chloorbenzeen	0,5	50.000	1.500		
<b>Olie totaal</b>					
Hexaan	1,0	geen	geen		
Octaan	1,0	geen	geen		
Nonaan	1,0	geen	geen		
<b>Pesticiden totaal</b>					
Lindaan (gamma-HCH)	0,05	10	50		
Aldrin	0,05	10	50		
Dieldrin	0,05	10	50		
DDE	0,05	10	50		
DDT	0,05	10	50		
<b>PCA's (6 van Borneff)</b>					
Bifenyyl	0,005	10.000	2.500		
Naftaleen	0,005	1.500	500		
Antraceen	0,005	7.500	500		
Fenantreen	0,005	300	500		
<b>Fenolen totaal</b>					
Fenol	0,5	geen	geen		
2, 4, 6-trichloorfenol	0,5	geen	geen		
P-chloorfenol	0,5	geen	geen		
Pentachloorfenol	0,5	geen	geen		
<b>Bron: Voorlopige inspectierichtlijn:</b> Blootstellingsrisico bij bodemverontreiniging. Min. van VROM 1989.					

## Bijlage II Toepassingsgebied van GVK leidingsystemen

De epoxy leidingsystemen zonder aluminium barrièrelaag worden in deze bijlage aangeduid als 'type N'; met aluminium barrièrelaag heeft de aanduiding 'type B'.

## 10 Randvoorwaarden toepassingsgebied voor type "N" epoxy leidingsystemen met gewikkelde buizen

Tabel 10. Signaalwaarden voor grond en grondwater waarboven gevaar bestaat van overschrijding van de drinkwaterindicatiewaarden.

Voorkomen in	Grond/droge stof in [mg/kg]	Grondwater in [mg/liter]	Drinkwater indicatiewaarde in [µg/liter]
<b>Componenten</b>			
<b>1. Metalen in ion-vorm</b>			
CR	Onbegrensd	Onbegrensd	50
Co	Onbegrensd	Onbegrensd	-
Ni	Onbegrensd	Onbegrensd	50
Cu	Onbegrensd	Onbegrensd	100
Zn	Onbegrensd	Onbegrensd	100
As	Onbegrensd	Onbegrensd	50
Mo	Onbegrensd	Onbegrensd	-
Cd	Onbegrensd	Onbegrensd	5
Sn	Onbegrensd	Onbegrensd	-
Ba	Onbegrensd	Onbegrensd	500
Hg	Onbegrensd	Onbegrensd	1
Pb	Onbegrensd	Onbegrensd	50
Overige metalen (mits 2 < pH < 12)	Onbegrensd	Onbegrensd	
<b>2. Anorganische verontreinigingen in ion-vorm</b>			
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Onbegrensd	Onbegrensd	160
NH <sub>3</sub> (vrij)	100	100	-
I <sup>-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	-
CN <sup>-</sup>	100	100	50
S <sup>2-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	100.000
Br <sup>-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	2.000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	100.000
Cl <sup>-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	150.000
overigen (mits 2 < pH < 12)	onbegrensd	onbegrensd	-

Voorkomen in	Grond/droge stof in [mg/kg]	Grondwater in [mg/liter]	Drinkwater indicatiewaarde in [µg/liter]
<b>Componenten</b>			
<b>3. Aromatische verbindingen</b>			
Benzeen	1.000	1.000	0,5
Ethylbenzeen	1.000	1.000	0,5
Propylbenzeen	1.000	1.000	0,5
Pentylbenzeen	1.000	1.000	0,5
1,3,5-trimethylbenzeen	1.000	1.000	0,5
Totueen	1.000	1.000	0,5
Xylenen	1.000	1.000	0,5
Fenol(en)	1.000	1.000	0,5
Styreen	1.000	1.000	0,5
Aromaten totaal	1.000	1.000	-
<b>4. Polycyclische koolwaterstoffen</b>			
Naftaleen	1.000	1.000	0.005
Antraceen	1.000	1.000	0.005
Fenantheen	1.000	1.000	0.005
Fluorantheen	1.000	1.000	-
Pyreen	1.000	1.000	-
Benzo(a)pyreen	1.000	1.000	-
PCK's (totaal)	1.000	1.000	-
<b>5. Alifatische koolwaterstoffen</b>			
Benzine	100.000	100.000	1
Dieselolie	100.000	100.000	1
Hexaan	100.000	100.000	1
Overigen	100.000	100.000	10
<b>6. Gechloreerde koolwaterstoffen</b>			
Dichloormethaan	100	100	0.5
1,1,1-Trichloorethaan	100	100	0.5
Trichloorethyleen	100	100	0.5
Tetrachlooretheen	100	100	0.5
Tetrachloorethaan	100	100	0.5
1,2-dichloorethaan	100	100	0.5
1,2-dichloorpropaan	100	100	0.5
Chloorbenzenen	1.000	1.000	1.0
Chloorfenolen	1.000	1.000	0.5
Chloorpck's	1.000	1.000	0.5
PCB's (totaal)	1.000	1.000	0.5
EOCL (totaal)	1.000	1.000	-

Voorkomen in	Grond/droge stof in [mg/kg]	Grondwater in [mg/liter]	Drinkwater indicatiewaarde in [µg/l]
<b>Componenten</b>			
<b>7. Bestrijdingsmiddelen</b>			
Org.chloor-(indv)	100	100	0.1
Org.chloor-(tot.)	100	100	0.5
Pesticiden (tot.)	100	100	0.5
Lindaan(gamma-HCH)	100	100	0.05
Aldrin	100	100	0.05
Dieldrin	100	100	0.05
DDE	100	100	0.05
DDT	100	100	0.05
<b>8. Alkoholen</b>			
Methanol	1	1	-
Overige alcoholen	1.000	1.000	-
<b>9. Ketonen</b>			
Aceton	100	100	-
MEK	100	100	-
Overigen	200	200	-
<b>10. Acetaten</b>			
Ethylacetaat	100	100	-
Overigen	200	200	-
<b>11. Organische zuren</b>			
Mierezuur	100	100	-
Azijnzuur	100	100	-
Overigen (mits $2 < \text{pH} < 12$ )	1.000	1.000	-
<b>12. Overige verontreinigingen</b>			
Tetrahydrofuraan	100	100	-
Pyridine	100	100	-
Tetrahydrothiofeen	100	100	-
Cyclohexanon	100	100	-

**Noot:**

De signaalwaarde voor alle niet in de tabel genoemde organische stoffen die als bodemverontreiniging voorkomen, is gelijk aan de verzadigingsconcentratie in grondwater. Voor organische stoffen die VOLLEDIG MENGBAAR ZIJN MET WATER, is de signaalwaarde in grondwater 105 mg/l.

*Opmerking:* De '105 mg/l' in de Noot onder de bovenstaande tabel moet zijn 10<sup>5</sup> mg/l (zie vorige versie van de Kiwa-beoordelingsrichtlijn BRL-K532 van 27 oktober 1999 en ook [17]).

## 11 Randvoorwaarden toepassingsgebied voor type "B" epoxy leidingsystemen met gewikkelde buizen

Tabel 11. Grenswaarden voor grond en grondwater die niet overschreden mogen worden.

Voorkomen in	Grond/droge stof in [mg/kg]	Grondwater in [mg/liter]	Drinkwater indicatiewaarde in [µg/liter]
<b>Componenten</b>			
<b>1. Metalen in ion-vorm</b>			
CR	onbegrensd	onbegrensd	50
Co	onbegrensd	onbegrensd	-
Ni	onbegrensd	onbegrensd	50
Cu	onbegrensd	onbegrensd	100
Zn	onbegrensd	onbegrensd	100
As	onbegrensd	onbegrensd	50
Mo	onbegrensd	onbegrensd	-
Cd	onbegrensd	onbegrensd	5
Sn	onbegrensd	onbegrensd	-
Ba	onbegrensd	onbegrensd	500
Hg	onbegrensd	onbegrensd	1
Pb	onbegrensd	onbegrensd	50
Overige metalen (mits $2 < \text{pH} < 12$ )	onbegrensd	onbegrensd	
<b>2. Anorganische verontreinigingen in ion-vorm</b>			
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	onbegrensd	onbegrensd	160
NH <sub>3</sub> (vrij)	10.000	10.000	-
I <sup>-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	-
CN <sup>-</sup>	10.000	10.000	50
S <sub>2</sub> <sup>-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	100.000
Br <sup>-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	2.000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	100.000
Cl <sup>-</sup>	onbegrensd	onbegrensd	150.000
overigen (mits $2 < \text{pH} < 12$ )	onbegrensd	onbegrensd	-

Voorkomen in	Grond/droge stof in [mg/kg]	Grondwater in [mg/liter]	Drinkwater indicatiewaarde in [µg/liter]
<b>Componenten</b>			
<b>3. Aromatische verbindingen</b>			
Benzeen	100.000	100.000	0,5
Ethylbenzeen	100.000	100.000	0,5
Propylbenzeen	100.000	100.000	0,5
Pentylbenzeen	100.000	100.000	0,5
1,3,5-trimethylbenzeen	100.000	100.000	0,5
Totueen	100.000	100.000	0,5
Xylenen	100.000	100.000	0,5
Fenol(en)	10.000	10.000	0,5
Styreen	100.000	100.000	0,5
Aromaten totaal	100.000	100.000	-
<b>4. Polycyclische koolwaterstoffen</b>			
Naftaleen	100.000	100.000	0.005
Antraceen	100.000	100.000	0.005
Fenanthreen	100.000	100.000	0.005
Fluorantheen	100.000	100.000	-
Pyreen	100.000	100.000	-
Benzo(a)pyreen	100.000	100.000	-
PCK's (totaal)	100.000	100.000	-
<b>5. Alifatische koolwaterstoffen</b>			
Benzine	100.000	100.000	1
Dieselolie	100.000	100.000	1
Hexaan	100.000	100.000	1
Overigen	100.000	100.000	10
<b>6. Gechloreerde koolwaterstoffen</b>			
Dichloormethaan	20.000	20.000	0,5
1,1,1-Trichloorethaan	50.000	50.000	0,5
Trichloorethyleen	50.000	50.000	0,5
Tetrachlooretheen	50.000	50.000	0,5
Tetrachloorethaan	50.000	50.000	0,5
1,2-dichloorethaan	50.000	50.000	0,5
1,2-dichloorpropaan	50.000	50.000	0,5
Chloorbenzenen	100.000	100.000	1,0
Chloorfenolen	10.000	10.000	0,5
Chloorpck's	100.000	100.000	0,5
PCB's (totaal)	100.000	100.000	0,5
EOCL (totaal)	100.000	100.000	-

Voorkomen in	Grond/droge stof in [mg/kg]	Grondwater in [mg/liter]	Drinkwater indicatiewaarde in [µg/liter]
<b>Componenten</b>			
<b>7. Bestrijdingsmiddelen</b>			
Org.chloor-(indv)	10.000	10.000	0.1
Org.chloor-(tot.)	10.000	10.000	0.5
Pesticiden (tot.)	100.000	100.000	0.5
Lindaan(gamma-HCH)	100.000	100.000	0.05
Aldrin	100.000	100.000	0.05
Dieldrin	100.000	100.000	0.05
DDE	100.000	100.000	0.05
DDT	100.000	100.000	0.05
<b>8. Alkoholen</b>			
Methanol	2.000	2.000	-
Overige alcoholen	100.000	100.000	-
<b>9. Ketonen</b>			
Aceton	10.000	10.000	-
MEK	10.000	10.000	-
Overigen	20.000	20.000	-
<b>10. Acetaten</b>			
Ethylacetaat	10.000	10.000	-
Overigen	20.000	20.000	-
<b>11. Organische zuren</b>			
Mierezuur	10.000	10.000	-
Azijnzuur	50.000	50.000	-
Overigen (mits 2 < pH < 12)	50.000	50.000	-
<b>12. Overige verontreinigingen</b>			
Tetrahydrofuraan	10.000	10.000	-
Pyridine	10.000	10.000	-
Tetrahydrothiofeen	10.000	10.000	-
Cyclohexanon	10.000	10.000	-

**Noot**

De grenswaarde voor alle niet in de tabel genoemde organische stoffen die als bodemverontreiniging voorkomen, is gelijk aan de verzadigingsconcentratie in grondwater. Voor organische stoffen die VOLLEDIG MENGBAAR ZIJN MET WATER is dit onbegrensd.



## Bijlage III Permeatie-eigenschappen van materialen voor fittingen

In PE leidingen toegepaste hulpstukken met fittinghuizen van PE, POM, PP en PA worden in het navolgende op praktische wijze kort geëvalueerd ten aanzien van permeatie (wanddikte en permeatie-eigenschappen van het materiaal). Wellicht ten overvloede wordt er op gewezen dat de bijdrage aan de permeatie door een PE drinkwaterleiding via kunststof hulpstukken beperkt zal zijn, gezien (i) de verhouding tussen het voor permeatie via de buis en via het hulpstuk beschikbare contactoppervlak en (ii) het aantal hulpstukken dat doorgaans vrij beperkt is. De vermindering van de drinkwaterkwaliteit als gevolg van permeatie door een kunststof fitting zal dus relatief gering zijn (ten opzichte van die door een bijbehorende PE buis).

### *PE*

In de BRL [15] zijn geen expliciete eisen geformuleerd voor de wanddikte van PE hulpstukken volgens de drie bovengenoemde verbindingsmethodes (dat is uitsluitend het geval voor 'MRS waarde' en 'ontwerpspanning'). Normaliter zal de wanddikte van deze hulpstukken groter zijn dan de wanddikte van de bijbehorende buis, zodat ook de permeatieweerstand van de hulpstukken groter is dan die van de buis. Voor een PE leiding met PE hulpstukken kan daarom worden volstaan met een inschatting van de mate van permeatie via de buis en (indien van toepassing) via de rubber afdichting(sring) in het hulpstuk.

### *POM*

De BRL [15] onderscheidt voor hulpstukken van POM het homopolymeer en het copolymeer (met dioxolaan of ethyleenoxide als comonomer). Op theoretische gronden worden tussen beide materialen geen significante verschillen in permeatie-eigenschappen verwacht. In de BRL zijn geen expliciete eisen geformuleerd voor de wanddikte van POM hulpstukken (uitsluitend voor 'MRS waarde' en 'ontwerpspanning'). Het is te verwachten dat de wanddikte van deze hulpstukken groter zal zijn dan die van de bijbehorende PE buizen. Gezien de polymere ketenstructuur van POM zal dat materiaal in vergelijking met PE op theoretische gronden in het algemeen een grotere affiniteit voor polaire en een kleinere affiniteit voor apolaire stoffen hebben. Daardoor zal de oplosbaarheid van apolaire organische stoffen in POM kleiner zijn dan die in PE. Polaire organische stoffen daarentegen lossen naar verwachting juist (aanzienlijk) beter op in POM dan in PE. Qua chemische bestendigheid sluit dit beeld aan bij beschikbare literatuurgegevens [22]: POM is resistenter dan PE voor monocyclische aromaten, benzine en heptaan. Voor wat betreft de diffusie van die stoffen door het materiaal zal die voor POM vergelijkbaar zijn met die voor PE. Voor de praktijk kan worden gesteld dat bij de toepassing van POM hulpstukken bij PE leidingen in met autobrandstoffen verontreinigde bodem de permeatieweerstand van de gehele leiding weliswaar zal verbeteren, maar dan wel minimaal'. Hetzelfde lijkt het geval te zijn bij aanwezigheid van gechloreerde alifatische koolwaterstoffen. De grotere permeatieweerstand van POM hulpstukken ten opzichte van bijbehorende PE buizen wordt op theoretische gronden in de orde van grootte van factoren, maar niet van decaden geschat.

### *PP*

PP komt in drie vormen voor [15]: als homopolymeer (PP-H) en als twee copolymeren met etheen (een blok copolymeer (PP-B) en een random copolymeer (PP-R)). De permeatie-

eigenschappen van deze drie PP materialen zullen op theoretische gronden niet significant verschillen.

In de BRL [15] zijn geen expliciete eisen geformuleerd voor de wanddikte van PP hulpstukken (uitsluitend voor 'MRS waarde' en 'ontwerpspanning'). Ook hierbij is het echter de verwachting dat de wanddikte van hulpstukken zeker niet kleiner zal zijn dan die van bijbehorende PE buizen.

Uit de literatuur [22] blijkt dat de chemische bestendigheid van PP groter is dan die van PE, maar doorgaans lager dan die van POM. Modelberekeningen laten zien dat diffusiecoëfficiënten in PP een factor 4 lager zijn dan in HDPE en een factor 50 groter dan in LDPE.

Hoewel het verschil beperkt zal zijn, zal de permeatieweerstand van een PE leiding met de toepassing van PP hulpstukken in praktijksituaties groter zijn dan bij met de toepassing van PE hulpstukken.

#### *PA*

Polyamiden komen in verschillende vormen voor, afhankelijk van het aantal koolstofatomen in een van de monomeren. Zo is het PA 6.6 (Nylon) vrij bekend. De permeatie-eigenschappen zijn afhankelijk van de precieze aard van een polyamide. Grosso modo kan er op grond van de chemische bestendigheid [22] van worden uitgegaan dat die eigenschappen vergelijkbaar zijn met die van POM (zie boven). Bij de toepassing van PA hulpstukken in PE leidingen zal de permeatieweerstand van die leiding dus toenemen.