



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen- drinkwaterleidingen

Methodiek voor de beoordeling van
risico's voor de drinkwaterkwaliteit

RIVM Rapport 2016-0107

P.F. Otte et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

**Permeatie van contaminanten
vanuit grondwater door
polyethyleen-
drinkwaterleidingen**

Methodiek voor de beoordeling van risico's
voor de drinkwaterkwaliteit

RIVM-rapport 2016-0107

KWR
Watercycle Research Institute

Colofon

© RIVM 2016

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de het ministerie van Infrastructuur en Milieu, Directie Water en Bodem, in het kader van het project Bodemkwaliteit (M/270025) en de Vereniging van Waterbedrijven in Nederland (VEWIN) als bijdrage aan het Bedrijfstakonderzoek voor de drinkwaterbedrijven (BTO project nummer 400554/061/004 en 400661).

P.F. Otte (auteur), RIVM
M.L. van der Schans (auteur), KWR
M.A. Meerkerk (auteur), KWR
F.A. Swartjes (auteur), RIVM

Contact:

Piet Otte, RIVM, piet.otte@rivm.nl

Martin van der Schans, KWR, martin.van.der.schans@kwrwater.nl

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Voorwoord

In de voorliggende rapportage wordt een methodiek beschreven voor de beoordeling van risico's door permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen drinkwaterleidingen.

De methodiek is bedoeld voor deskundigen en adviseurs die belast zijn met de kwaliteit van drinkwater en grondwater.

Voor de beoordeling van risico's is een praktisch stappenplan opgesteld op basis waarvan de beoordeling kan plaatsvinden. Het stappenplan is een combinatie van toetsing aan triggerwaarden, modellering van permeatie en, in geval van twijfel, verificatiemetingen.

Voor de inschatting van de mate van permeatie door PE-drinkwaterleidingen, is onderzoek verricht naar permeatiemodellen en is er een nieuw model ontwikkeld. Deze studie is in een aparte rapportage vastgelegd (Van der Schans et al., 2016).

Het onderzoek is uitgevoerd door het RIVM en het KWR Watercycle Research Institute. Gedurende het project is regelmatig overleg gevoerd met de begeleidingsgroep over randvoorwaarden en toetscriteria. De begeleidingsgroep bestond uit R. Eijssink (VEWIN¹), J. Appelman, J. van Brussel (beiden ministerie van Infrastructuur en Milieu), C. Molenaar (Rijkswaterstaat Leefomgeving Bodem+), N. Otte en P. Horst (beiden PWN²).

Daarnaast is dankbaar gebruikgemaakt van de review en adviezen van A. van Wezel (KWR), A. Versteegh (RIVM, drinkwaterbeleid) en K. Versluijs (RIVM, advisering permeatiemodellering).

¹ VEWIN is de Vereniging van waterbedrijven in Nederland, <http://www.vewin.nl>

² PWN is drinkwaterbedrijf en beheerder van de Noord-Hollandse duinen, <http://www.pwn.nl/overpwn/Paginas/default.aspx>

Publiekssamenvatting

Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen- drinkwaterleidingen.

Methodiek voor de beoordeling van risico's voor de drinkwaterkwaliteit

Het is mogelijk dat organische verontreinigingen in grondwater via kunststof (polyethyleen) drinkwaterleidingen de kwaliteit van het drinkwater aantasten. De verontreinigingen kunnen door de buiswand dringen en zo in het drinkwater terechtkomen (permeatie). Het RIVM heeft met het KWR Watercycle Research Institute een stappenplan ontwikkeld om de risico's voor de drinkwaterkwaliteit hiervan te beoordelen. Hiermee kunnen de risico's tijdig worden onderkend en wordt onnodig onderzoek zo veel mogelijk vermeden. Kunststof drinkwaterleidingen worden vooral gebruikt voor de aansluiting van woningen op de hoofdwaterleiding.

Het stappenplan is een combinatie van toetsing aan grondwaterconcentraties, aandacht voor klachten van gebruikers, de modellering van permeatie en, in geval van twijfel, metingen. Voorgesteld wordt dat het stappenplan en het model voor de berekening van permeatie de huidige werkwijze van het bevoegd gezag voor bodemsanering en de drinkwaterbedrijven vervangt. Bovendien wordt voorgesteld om voor de beoordeling van de risico's van grondwaterverontreiniging de beoordelingsmethodiek aan te passen aan de nieuwe inzichten.

Voor deze methodiek zijn onder meer praktijkdata afkomstig van risicovolle situaties geanalyseerd. Tevens is een model ontwikkeld om de hoeveelheid aan verontreiniging die in het drinkwater terecht kan komen te voorspellen. De modelontwikkeling is beschreven in een separaat rapport.

Kernwoorden: drinkwaterkwaliteit, permeatierisico's, sanering, grondwaterverontreiniging, bodemverontreiniging.

Synopsis

Permeation of contaminants in groundwater through polyethylene drinking water pipes.

Risk assessment procedure.

It is possible that organic contaminants in groundwater penetrate through plastic (polyethylene) drinking water pipes which harms the drinking water quality. RIVM and the KWR Water Cycle Research Institute have developed a step-by-step plan to assess the risks of permeation. With the step-by-step plan, risks for drinking water quality can be identified early while unnecessary measurements are minimized. Polyethylene drinking water pipes are mainly used for connecting homes to the main water supply.

The step-by-step plan is a combination of testing groundwater concentrations, attention to user complaints, the modeling of permeation and, in case of doubt, measurements of drinking water. It is proposed that the new method will replace the current practice of both the water companies and the competent authority for soil remediation.

For this method, field data from suspected locations were analyzed. In addition, a model was developed to predict the amount of pollution that can end up in the drinking water. The model development has been described in a separate report.

Keywords: water quality, permeation risks, remediation, groundwater contamination, soil contamination.

Inhoudsopgave

Voorwoord — 3

Samenvatting — 11

1 Inleiding — 15

- 1.1 Aanleiding — 15
- 1.2 Doelstelling — 16
- 1.3 Afbakening — 16
- 1.4 Leeswijzer — 17

2 Probleemstelling en het permeatieproces — 19

3 Selectie van contaminanten — 21

- 3.1 Geselecteerde contaminanten — 21
- 3.2 Toelichting op de selectie van contaminanten — 22
 - 3.2.1 Frequentie van voorkomen — 22
 - 3.2.2 Groot verschil tussen signaalwaarde en interventiewaarde — 23
 - 3.2.3 Normen beschikbaar — 23

4 Bestaande beoordelingskaders en toetscriteria voor grondwater — 25

- 4.1 Signaalwaarden grondwater voor PE-drinkwaterleidingen — 25
- 4.2 Risicobeoordeling in het kader van de Wet bodembescherming — 26
 - 4.2.1 Humaan-toxicologische risicobeoordeling — 27
 - 4.2.2 Blootstelling door het gebruik van drinkwater — 27
 - 4.2.3 Blootstelling via drinkwater ten opzichte van de totale blootstelling — 29
- 4.3 Buitenlandse methodieken — 29

5 Uitgangspunten voor de afleiding van risicogrenswaarden — 31

- 5.1 Toetscriteria drinkwater — 31
- 5.2 Toetsperiode drinkwater — 32
- 5.3 Meting concentratie in grondwater — 33

6 Voorstel voor de beoordeling van permeatierisico's — 35

- 6.1 Schatting van het permeatierisico op basis van praktijkmetingen — 35
- 6.2 Ontwikkeling permeatiemodel — 36
- 6.3 Modelleren van risicogrenswaarden — 37
- 6.4 Het gebruik van de interventiewaarde grondwater als 'triggerwaarde' — 39
- 6.5 Stappenplan voor de beoordeling van het permeatierisico — 40

7 Conclusies en aanbevelingen — 43

- 7.1 Conclusies — 43
- 7.2 Aanbevelingen — 44

Literatuur 45

Samenvatting

Aanleiding

De huidige aanpak van grondwaterverontreiniging is vastgelegd in de Wet bodembescherming (Wbb) en de Circulaire bodemsanering. De essentie van de regelgeving is dat van een geval grondwaterverontreiniging eerst de 'ernst' wordt vastgesteld op basis van een overschrijding van de **interventiewaarden** grondwater. De interventiewaarde fungeert als een 'triggerwaarde', waarbij in geval van overschrijding een nader onderzoek volgt, waarmee het gezondheidsrisico op de locatie wordt beoordeeld. Het gezondheidsrisico is gebaseerd op een overschrijding van het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR_{huuman}) via alle mogelijke blootstellingsroutes, waaronder consumptie en gebruik van drinkwater volgend op permeatie van verontreinigingen door de drinkwaterleiding. De blootstellingsroutes worden doorgerekend met het blootstellingsmodel CSOIL 2000 (Brand et al., 2007), onderdeel van de risico-beoordelingsmethodiek Sanscrit. De permeatieberekeningen zijn gebaseerd op experimenteel onderzoek uit de jaren tachtig.

Veilige levering van drinkwater wordt geregeld in de Drinkwaterwet. In de voorlopige inspectierichtlijn voor blootstelling bij bodemverontreinigingen (ministerie van VROM, 1989) zijn **signaalwaarden**³ opgenomen voor bodem en grondwater, waarboven het risico bestaat van overschrijding van drinkwaternormen door permeatie van verontreinigingen door de drinkwaterleiding. De mate van permeatie, en daarmee de signaalwaarden, is afhankelijk van het type leidingmateriaal. De signaalwaarden voor bodem en grondwater voor polyethyleen (PE-) drinkwaterleidingen en afdichtringen zijn voor organische contaminanten lager dan de interventiewaarden. Dit kan tot de situatie leiden dat er volgens de Wbb geen sprake is van onaanvaardbare gezondheidsrisico's, terwijl de signaalwaarden duiden op mogelijke overschrijding van de drinkwaternormen. Dit verschil hangt samen met het feit dat het bodembeleid is gebaseerd op een risicobenadering die gericht is op gezondheid, terwijl de drinkwaternormen zijn gebaseerd op het voorzorgsprincipe.

Het hanteren van verschillende criteria leidt tot lastige situaties. Het komt voor dat drinkwaterbedrijven bestaande drinkwaterleidingen vervangen vanwege (bezorgdheid voor) permeatie veroorzaakt door bodem- en grondwaterverontreiniging, terwijl er op grond van de Wbb geen reden is voor maatregelen. Dit leidt tot extra kosten en een tegenstrijdige boodschap over gezondheidsrisico's en drinkwaterkwaliteit richting betrokken partijen en bewoners. Uit praktijkonderzoek bij PWN en Brabant Water⁴ blijkt dat de huidige signaalwaarden onnodig streng zijn; overschrijding van de signaalwaarde leidt vrijwel nooit tot overschrijding van de drinkwaternorm in het drinkwater.

³ Signaalwaarden zijn gepubliceerd in 1989 in een voorlopige inspectierichtlijn en geïmplementeerd in het Waterwerkblad.

⁴ Brabant Water is het drinkwaterbedrijf in Noord-Brabant, <https://www.brabantwater.nl/>

Doelstelling

Deze studie heeft als doel de methodiek voor de beoordeling van permeatierisico's te verbeteren en op basis van deze verbeterde methodiek de signaalwaarden uit 1989 te herzien.

Ervaringen in het buitenland

Permeatie van verontreinigingen door drinkwaterleidingen wordt in veel blootstellingsmodellen niet beschouwd. Een aantal landen meet bij verdachte situaties wel direct de drinkwaterkwaliteit in de drinkwaterleiding. Door verschillende landen wordt voor de beoordeling van het permeatierisico een procedure gehanteerd zoals opgenomen in CSOIL en Sanscrit. In geen van de landen wordt thans een methodiek gehanteerd die bij kan dragen aan een verbetering van de in Nederland toegepaste methodiek.

Toetscriteria

In de begeleidingsgroep is afgesproken dat de drinkwaternorm als toetscriterium voor de drinkwaterkwaliteit wordt gehanteerd. Voor de beoordeling van de drinkwaterkwaliteit wordt uitgegaan van een toetsing met één nacht (acht uur) stagnatie op basis van de etmaal-gemiddelde concentratie in drinkwater.

Verbetering van het permeatiemodel en onderbouwing triggerwaarde

Voor de inschatting van de mate van permeatie door PE-drinkwaterleidingen is onderzoek verricht naar de modellering van permeatie. De resultaten van deze studie zijn in een aparte rapportage vastgelegd (Van der Schans et al., 2016).

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een robuuste methode (model) om het risico op permeatie van contaminanten door polyethyleen (PE) huisaansluitingen naar drinkwater te voorspellen onder veldcondities. Daarnaast zijn de gegevens uit praktijkonderzoek bij waterleidingbedrijven onderzocht.

Op basis van de studie naar de modellering van permeatie (Van der Schans et al., 2016) wordt geadviseerd om de huidige parameterset in CSOIL en Sanscrit (volgens Van der Berg et al., 1995) aan te passen. Uit de evaluatie van het praktijkonderzoek blijkt dat het onwaarschijnlijk is dat bij een grondwaterverontreiniging onder de interventiewaarde de drinkwaternorm wordt overschreden. De interventiewaarden vormen daarom een veilige eerste trigger bij toetsing op basis van etmaal-gemiddelde concentraties.

Stappenplan voor de beoordeling

Op basis van de verkregen inzichten is een stappenplan opgesteld voor de risicobeoordeling (zie Figuur 1). Het stappenplan start met de vraag of er PE-drinkwaterleidingen aanwezig zijn (1) en in contact staan met verontreinigingen (2). Mocht de drinkwaterleiding bestaan uit PVC met elastomere verbindingsringen, dan wordt verwezen naar de Leidraad Permeatie (KWR, in prep.). Vervolgens vindt een eerste toetsing plaats op basis van de interventiewaarde in grondwater als triggerwaarde (3) en de inventarisatie van eventuele smaak- of geurklachten. Daarna kan een modelberekening volgen om de mate van permeatie in te schatten (4).

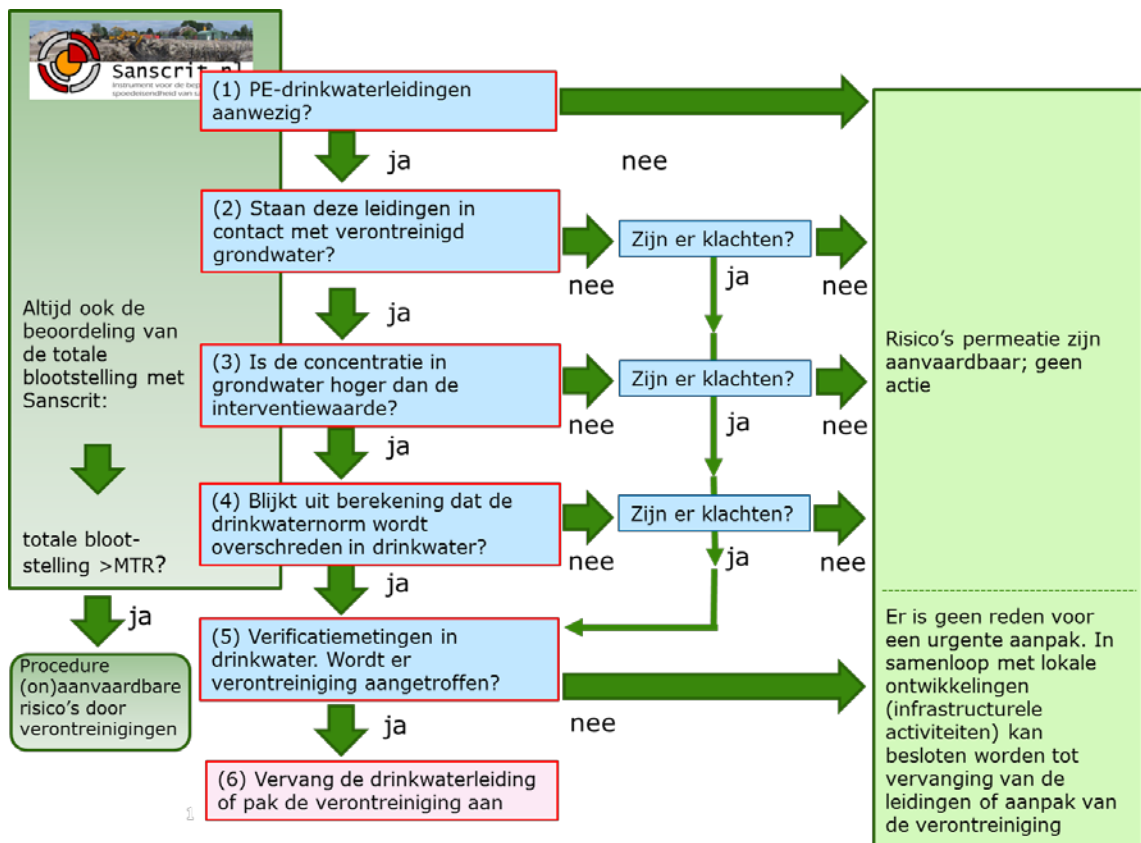
Indien nodig, volgen verificatiemetingen van drinkwater (5), waarna een beslissing over te nemen maatregelen volgt.

De interventiewaarde in grondwater worden in stap (3) gehanteerd als triggerwaarde. De inventarisatie van smaak- en geurklachten kan op verschillende wijzen worden aangepakt, afhankelijk van de situatie.

Geadviseerd wordt om in ieder geval contact op te nemen met het drinkwaterbedrijf om na te gaan of er klachten zijn. De verificatiemeting (stap 5) wordt bij voorkeur uitgevoerd na acht uur stagnatie. Mocht dit een concentratie opleveren tussen de detectielimiet en de drinkwaternorm, dan kan een permeatierisico niet direct worden uitgesloten en wordt geadviseerd een herhalingsmeting uit te voeren. Indien de beoordeling leidt tot de conclusie dat er moet worden ingegrepen (6), dan kan een keuze worden gemaakt tussen sanering of vervanging van drinkwaterleidingen, mede op basis van een inschatting van de kosten.

Volgens het stappenplan kunnen risico's ten gevolge van permeatie tijdig worden onderkend en maatregelen worden genomen om de drinkwaterkwaliteit te waarborgen. Tevens wordt volgens deze aanpak onnodig onderzoek zoveel mogelijk vermeden.

Een belangrijk voordeel van de interventiewaarde in grondwater als triggerwaarde (stap 3) en de drinkwaternorm als toetscriterium is dat er samenhang ontstaat tussen de beoordeling vanuit de Wbb en de Drinkwaterwet.



Figuur 1. Stappenplan voor de beoordeling van het permeatierisico door organische verontreinigingen bij PE-drinkwaterleidingen.

Aanbevelingen

Voor de uitvoering van de risicobeoordeling wordt geadviseerd om:

- de beoordeling van permeatierisico's uit te voeren volgens het ontwikkelde stappenplan.
- het stappenplan en de aanbevelingen voor de modellering van permeatie (Van der Schans, et al., 2016) te implementeren in CSOIL en Sanscrit.
- in geval van een berekende overschrijding van de drinkwaternorm verificatiemetingen uit te voeren in het drinkwater alvorens over te gaan tot maatregelen. Dit gezien de beperkte nauwkeurigheid van permeatiemodellen. In de meeste gevallen zal de berekende permeatie hoger zijn dan de gemeten permeatie.

Voor het delen van kennis en ervaring wordt geadviseerd om:

- een evaluatiedag met stakeholders en probleembezitters te organiseren.
- de bevindingen in een vakblad (H₂O of Bodem) en/of in een wetenschappelijk tijdschrift te publiceren.

Voor de toekomst wordt geadviseerd om de ervaringen met de voorgestelde methodiek te volgen en alle praktijkmetingen van permeatie op eenduidige wijze te registreren in een centrale database. Hiermee kan de ontwikkelde methodiek en de betrouwbaarheid van de permeatiemodellen aan de praktijk worden getoetst en, indien nodig, worden verbeterd.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De huidige normstelling en risicobeoordeling voor de aanpak van grondwaterverontreiniging zijn vastgelegd in de Wet bodembescherming (Wbb) en in het bijzonder in de Circulaire bodemsanering (ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). De essentie van de regelgeving is dat van een geval grondwaterverontreiniging de 'ernst' wordt vastgesteld op basis van een overschrijding van de interventiewaarden grondwater en een omvangscriterium. In geval van overschrijding van de interventiewaarde wordt de spoedeisendheid van sanering vastgesteld op basis van verspreiding en de aanwezige risico's voor mens en milieu vanwege kwetsbare objecten, zoals een drinkwateronttrekking of de aanwezigheid van PE-drinkwaterleidingen.

Veilige productie en distributie van drinkwater is geregeld in de Drinkwaterwet. In de voorlopige inspectierichtlijn voor blootstelling bij bodemverontreiniging (ministerie van VROM, 1989) zijn signaalwaarden opgenomen voor bodem en grondwater, waarboven het risico bestaat van overschrijding van drinkwaterindicatiewaarden⁵ door permeatie van verontreinigingen.

De mate van permeatie en daarmee de signaalwaarden zijn afhankelijk van het type waterleidingmateriaal (Meerkerk, 2010). Voor metalen en cementgebonden drinkwaterleidingen levert bodemverontreiniging met concentraties ver boven de interventiewaarden voor grondwater (en de in de praktijk gehanteerde saneringsdoelen) geen problemen op voor de drinkwaterkwaliteit. Echter, de signaalwaarden voor kunststofleidingen (in het bijzonder voor polyethyleen drinkwaterleidingen en afdichtringen) liggen voor organische contaminanten op een lager niveau dan de vastgestelde interventiewaarden. Dit leidt tot de situatie dat er volgens de Wbb geen sprake is van onaanvaardbare gezondheidsrisico's, terwijl de signaalwaarden voor de beoordeling van permeatie door PE-drinkwaterleidingen worden overschreden.

Deze discrepantie komt doordat voor het bodemsaneringsbeleid andere uitgangspunten gehanteerd worden dan voor het drinkwaterbeleid.

De aanpak van ernstige bodem- en grondwaterverontreiniging is onder andere gebaseerd op een vergelijking van de geschatte blootstelling met het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR_{humaaan}). De drinkwaternormen zijn gebaseerd op het voorzorgsprincipe (en gaan veelal uit van het Verwaarloosbaar Risiconiveau) en zijn voor veel contaminanten gelijk aan 1 µg/L. De drinkwaternormen volgen uit de Europese drinkwaterrichtlijn, waar Nederland als lidstaat aan heeft te voldoen.

Deze verschillende risicocriteria leiden soms tot lastige situaties. Het komt voor dat drinkwaterbedrijven leidingen vervangen vanwege bodem- en grondwaterverontreiniging in gehalten beneden de interventiewaarden (Bonte en Meerkerk, 2010). Dit leidt tot extra kosten van naar schatting 9.000 euro per vervangen aansluiting, plus de extra kosten voor de aanleg van nieuwe leidingen. Nieuwe drinkwaterleidingen

⁵ De in 1989 gehanteerde drinkwaterindicatiewaarden verschillen van de thans vigerende drinkwaternormen.

worden op verontreinigde locaties met andere materialen en onder een ander aannemersregiem uitgevoerd (persoonlijke mededeling PWN en VEWIN). Bovendien is er een tegenstrijdige boodschap met betrekking tot de gezondheidsrisico's en drinkwaterkwaliteit richting betrokken partijen en bewoners.

Mogelijk zijn de huidige signaalwaarden onnodig streng. Uit praktijkonderzoek blijkt dat signaalwaarden voor grondwater soms fors worden overschreden, zonder dat de betreffende contaminanten in het drinkwater worden gemeten. Zo heeft PWN metingen gedaan in het grondwater en het corresponderende drinkwater in de aansluitleidingen. In 32 gevallen werd de interventiewaarde grondwater overschreden, maar slechts in drie gevallen zijn de contaminanten aangetroffen in het drinkwater (zie Van der Schans et al., 2016, voor details). In een recente studie naar de afleiding van functiespecifieke risicogrenswaarden voor grondwaterkwaliteit werden voor een aantal organische contaminanten risicogrenswaarden voor grondwater berekend bij permeatie door PE-drinkwaterleidingen (Otte et al., 2013). De berekende risicogrenswaarden zijn hoger dan de signaalwaarden. Deze inzichten leidden tot de aanbeveling om de kennis en beoordeling van permeatierisico's te actualiseren, en voorstellen te doen voor nieuwe signaalwaarden. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu en Vewin hebben het KWR en RIVM gevraagd om gezamenlijk onderzoek uit te voeren, met als doel de risicobeoordeling permeatie van contaminanten door drinkwaterleidingen te verbeteren.

1.2 Doelstelling

De doelen van het project zijn:

- a. De methodiek voor de beoordeling van permeatierisico's te verbeteren.
- b. Op basis van deze verbeterde methodiek de signaalwaarden uit 1989 te herzien.

1.3 Afbakening

Het project richt zich op aansluitwaterleidingen, dat wil zeggen waterleidingen die het water van buiten naar binnen in de woningen transporteren, van polyethyleen (PE) (in deze rapportage kortweg 'PE-waterleidingen' genoemd). Het risico voor de drinkwaterkwaliteit door permeatie is in dit geval het grootst ('worst case'-situatie), omdat:

- Organische contaminanten gemakkelijker doordringen in PE-materiaal dan in andere in Nederland toegepaste leidingmaterialen.
- PE-materiaal in Nederland vaak is toegepast voor aansluitwaterleidingen.
- Het bij aansluitleidingen gaat om een ongunstige verhouding tussen oppervlak en volume, en er perioden van stagnatie optreden.

PE-waterleidingen kunnen bestaan uit LDPE (*Low Density PolyEthylene*) of HDPE (*High Density PolyEthylene*). Dit zijn benamingen die vooral in het verleden werden gebruikt en worden in dit rapport aangeduid als respectievelijk PE40 en PE80.

In vervolgonderzoek kunnen, indien wenselijk, ook voor andere typen waterleiding risicogrenswaarden worden afgeleid.

1.4 Leeswijzer

De opbouw van het rapport volgt globaal de stappen die gedurende het onderzoek zijn doorlopen. Hoofdstuk 2 schetst de problematiek en het permeatieproces. Voor de afleiding van risicogrenswaarden wordt in hoofdstuk 3 eerst een selectie gemaakt van de meest relevante contaminanten en wordt ingegaan op de stofeigenschappen die bepalend zijn voor de mate van permeatie. In hoofdstuk 4 worden de achtergronden gegeven van de huidige signaalwaarden voor grondwater (Waterwerkbladen) en de risicobeoordeling volgens de Wet bodembescherming. Daarnaast wordt een kort overzicht gegeven van de wijze waarop in een aantal andere landen wordt omgegaan met het permeatievraagstuk. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de beleidsmatige uitgangspunten die gebruikt kunnen worden voor de afleiding van risicogrenswaarden voor grondwater dat in contact staat met PE-drinkwaterleidingen. In hoofdstuk 6 wordt een voorstel gedaan voor de beoordeling van risico's van permeatie. Conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 7.

Uit praktijkonderzoek bij PWN en Brabant Water in de periode 2013-2015 blijkt dat de huidige rekenmethoden van CSOIL en Sanscrit en de signaalwaarden voor grondwater uit de inspectierichtlijn van VROM (1989) vermoedelijk beide onnodig streng zijn en daardoor kunnen leiden tot onnodige zorgen. Daarom is onderzocht of, voor de beoordeling van permeatierisico's, de huidige berekening van permeatie door PE-leidingen kan worden verbeterd. De ontwikkeling van een robuuste methode (model) om het risico op permeatie van contaminanten door polyethyleen (PE-) huisaansluitingen naar drinkwater te voorspellen onder veldcondities, is beschreven in 'Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen drinkwaterleidingen. Ontwikkeling permeatiemodel en onderbouwing risicogrenswaarden.' (Van der Schans et al, 2016).

2 Probleemstelling en het permeatieproces

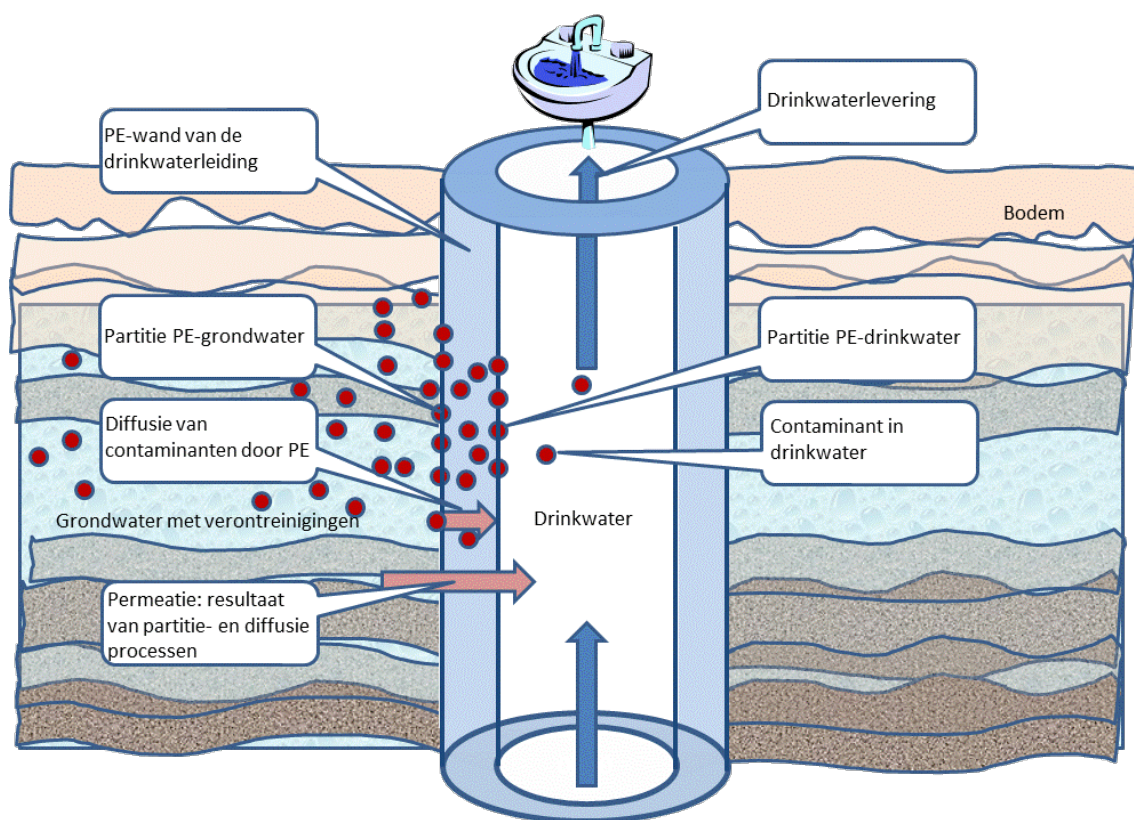
Drinkwaterleidingen kunnen in contact staan met verontreinigde bodem en grondwater. Hoewel drinkwaterleidingen waterdicht zijn, kunnen in het grondwater aanwezige organische contaminanten in de vrije ruimten tussen de polymeerketens van de drinkwaterleidingen dringen en zich vervolgens verplaatsen naar het drinkwater in de drinkwaterleiding. Deze vrije ruimten in leidingmateriaal zijn op moleculaire schaal en daarom niet zichtbaar met het blote oog. Dit proces wordt, in het geval het buismateriaal een polymere kunststof is, aangeduid als 'permeatie' (Comyn, 1985).

Permeatie van contaminanten vanuit de bodem en grondwater door PE-drinkwaterleidingen is in partitie- en diffusieprocessen onder te verdelen (zie Figuur 2) In deze figuur zijn de volgende processen opgenomen:

1. toestroming van contaminanten naar de drinkwaterleiding door diffusie;
2. partitie over de vaste fase van de bodem, het poriewater en de gasfase van de bodem;
3. partitie vanuit het poriewater en/of de bodemlucht in het polymeer;
4. diffusie door het polymeer;
5. partitie vanuit het polymeer naar drinkwater in de drinkwaterleiding;
6. diffusie in drinkwater;
7. transport van drinkwater naar het tappunt.

Er zijn verschillende gevallen bekend waarbij contaminanten vanuit de bodem en het grondwater in drinkwaterleidingen zijn aangetroffen. Goodfellow et al. (2002), bijvoorbeeld, benoemt elf gevallen van verontreinigd drinkwater in drinkwaterleidingen in het Verenigd Koninkrijk, in de periode 1998/ 1999. In de Verenigde Staten wordt voor de periode tot en met 1992 melding gemaakt van meer dan honderd incidenten (Glaza en Park, 1992). Bromhead (1997) geeft een overzicht van incidenten ten gevolge van permeatie in drinkwaterleidingen in België, Duitsland, Nederland, Noorwegen, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten.

In Nederland zijn in de jaren '80 grootschalig permeatie-incidenten gerapporteerd, onder andere in Rotterdam (van der Heijden, 1985). Thans komt permeatie in incidentele gevallen voor. Zo zijn recent in Noord-Holland op drie locaties contaminanten in het drinkwater aangetroffen (persoonlijke mededeling PWN, 2013), en op zes locaties in Brabant (persoonlijke mededeling Brabant Water, 2014). Het is niet duidelijk hoe vaak permeatie optreedt in heel Nederland, mede omdat er geen centrale registratie van incidenten plaatsvindt.



Figuur 2. Schematische voorstelling van een PE-drinkwaterleiding en de processen die belangrijk zijn voor de mate van permeatie. Onderscheiden worden de partitie van de contaminanten over het grondwater en de PE-buis, de diffusie van de contaminanten door de PE-wand en vervolgens de partitie van de contaminanten tussen de PE-buis en het drinkwater.

3 Selectie van contaminanten

In het grondwater kunnen vele contaminanten worden aangetroffen. Deze studie richt zich op een beperkt aantal contaminanten. Dit hoofdstuk licht toe welke contaminanten zijn geselecteerd voor dit onderzoek en waarom.

3.1 Geselecteerde contaminanten

De geselecteerde contaminanten staan in Tabel 3.1:

Tabel 3.1. De in deze studie beschouwde contaminanten.

Contaminantnaam	CAS-nummer	Referentienormen
Aromatische verbindingen:		
Benzeen	71-43-2	1) 4)
Ethylbenzeen	100-41-4	2)
Tolueen	108-88-3	2) 4)
PAKs:		
Naftaleen	91-20-3	1) 4)
Gechloreerde koolwaterstoffen:		
Vinylchloride	75-01-4	1)
1,2-dichloorethaan	107-06-2	1) 4)
1,1-dichlooretheen	75-35-4	
1,2-dichlooretheen (cis)	156-59-2	
1,2-dichlooretheen (trans)	156-60-5	
1,1,1-trichloorethaan	71-55-6	4)
Trichlooretheen (tri)	79-01-6	1)
Tetrachlooretheen (per)	127-18-4	1) 4)
Overige:		
Pyridine	110-86-1	
Tetrahydrofuran	109-99-9	
MTBE (Methyl-tert-buthyl ether)	1634-04-4	3)
ETBE (Ethyl tert-butyl ether)	637-92-3	3)
Dimethylftalaat	84-66-2	

1) Norm in het Drinkwaterbesluit

2) WHO-norm beschikbaar

3) Indicatorparameter in het Drinkwaterbesluit

4) Signaalwaarde in het Waterwerkblad

Voor zes van de in Tabel 3.1 geselecteerde contaminanten, gemarkeerd met 4), is een signaalwaarde opgenomen in het Waterwerkblad. Voor de overige 11 contaminanten in Tabel 3.1 is geen signaalwaarde gegeven. Daarnaast zijn 23 overige contaminanten waarvoor wel signaalwaarden bestaan, niet geselecteerd in deze studie. In de meeste gevallen betreft dit contaminanten die niet frequent in grondwater worden aangetroffen.

3.2 Toelichting op de selectie van contaminanten

De selectie van contaminanten is gebaseerd op de volgende criteria:

- een hoge frequentie van voorkomen in gevallen van grondwaterverontreiniging;
- een hoge partitievoëfficiënt PE/water;
- een groot verschil tussen de huidige signaalwaarde voor permeatie en de interventiewaarde;
- beschikbaarheid van normen.

3.2.1 Frequentie van voorkomen

In Otte et al. (2013) is onderzocht voor welke contaminanten het meest wenselijk is functiespecifieke risicogrenswaarden voor grondwater af te leiden ten behoeve van het gebiedsgericht beheer van grondwater.

Hiertoe werd nagegaan welke contaminanten bij grondwaterverontreiniging veelvuldig voorkomen, op basis van:

- een verkenning naar de grondwaterkwaliteit in enkele grote steden in 2004;
- de gegevens uit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG);
- de gegevens van potentieel bodemverontreinigende, bedrijfsmatige activiteiten van voor 1987 (Meinardi en van den Berg (Eds.), 2008);
- De resultaten van de monitoring van het grondwater in Utrecht, Den Haag en Rotterdam (Meinardi en van den Berg (Eds.), 2008).

Uit Otte et al. (2013) resulteert de lijst met contaminanten uit Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Geselecteerde organische contaminanten voor de afleiding van functiespecifieke risicogrenswaarden voor grondwater, op basis van frequentie van voorkomen (Otte et al., 2013).

Contaminantnaam	CAS-nummer	Molecuulgewicht (g / mol)
PAKs:		
Naftaleen	91-20-3	128
VOCs:		
Tetrachlooretheen (per) (Tetrachloorethyleen)	127-18-4	166
Trichlooretheen (tri) (Trichloorethyleen)	79-01-6	132
1,1-Dichlooretheen (1,1-Dichloorethyleen)	75-35-4	97
1,2-Dichlooretheen (1,1-Dichloorethyleen)	540-59-0	97
Vinylchloride (Chloorethyleen)	75-01-4	62,5
BETX:		
Benzeen	71-43-2	78,1
Tolueen	108-88-3	92,1
Ethylbenzeen	100-41-4	106
Overige:		
MTBE (Methyl-tert-buthylether)	1634-04-4	88

Bovendien werd in Otte et al. (2013) minerale olie (Total Petroleum Hydrocarbons: TPH's) aangemerkt als veel voorkomende contaminant in grondwater. Minerale olie is een mengsel van TPH-fracties. In Franken et al. (1999) zijn gemiddelde contaminanteigenschappen voor deze fracties gedefinieerd. Representatieve contaminanten binnen de TPH-fracties zijn in de lijst opgenomen; benzeen voor de aromatische fractie EC 5-7; toluen voor de aromatische fractie EC >7-8; ethylbenzeen voor de aromatische fractie EC >8-10 en naftaleen voor de aromatische fractie EC >10-12.

Uit berekeningen met het blootstellingsmodel CSOIL blijkt dat een aantal organische contaminanten permeatie vertoont. Voor deze contaminanten is de blootstelling via het gebruik van drinkwater daarom niet verwaarloosbaar. Deze contaminanten zijn:

- cresol (37%);
- pyridine (60%);
- tetrahydrofuran (46%);
- dimethylftalaat (56%);
- diethylftalaat (42%)

Tussen haakjes is de procentuele bijdrage van de blootstellingsroute via drinkwater na permeatie, aan de totale blootstelling vermeld. De percentages zijn berekend voor de afleiding van de interventiewaarden (Lijzen et al., 2001) op basis van de permeatiecoëfficiënten van Vonk (1985) en de berekening volgens (Van den Berg, 1995 en van den Berg, 1997).

Voor deze studie zijn de contaminanten met de grootste procentuele bijdrage toegevoegd: pyridine, tetrahydrofuran en dimethylftalaat.

Aangezien metalen, fluoriden en sulfaten geen permeatie door PE-drinkwaterleidingen vertonen, blijven deze buiten beschouwing.

3.2.2 *Groot verschil tussen signaalwaarde en interventiewaarde*

Het verschil tussen de hoogte van de signaalwaarde en de interventiewaarde was een belangrijke aanleiding voor deze studie. Een voorbeeld is toluen. Volgens de Waterwerkborden is er voor toluen bij 15 µg/L een permeatierisico. De interventiewaarde voor toluen is vastgesteld op 1000 µg/L (Circulaire bodemsanering), slechts bij overschrijding hiervan wordt gesproken van een geval van ernstige bodemverontreiniging. Andere voorbeelden van contaminanten met grote verschillen tussen de hoogte van signaal- en interventiewaarde zijn ethylbenzeen, naftaleen, trichlooretheen, dichloorethaan en trichloorethaan.

3.2.3 *Normen beschikbaar*

Voor alle beschouwde contaminanten is een norm beschikbaar, of kan gebruik worden gemaakt van normen voor contaminanten met vergelijkbare toxische eigenschappen.

4 Bestaande beoordelingskaders en toetscriteria voor grondwater

Dit hoofdstuk beschrijft de achtergronden van de signaalwaarden voor grondwater (KIWA, 2004) en de risicobeoordeling volgens de Wet bodembescherming. Er wordt tevens een kort overzicht gegeven van de wijze waarop in een aantal andere landen wordt omgegaan met het permeatievraagstuk.

4.1 Signaalwaarden grondwater voor PE-drinkwaterleidingen

Door het ministerie van VROM zijn in 1989 in een voorlopige inspectierichtlijn, signaalwaarden gegeven voor het risico op permeatie vanuit grondwater en bodem waarboven gevaar bestaat op te hoge concentraties in drinkwater. Er zijn aparte waarden afgeleid voor PE- en PVC-leidingen. Er is geen onderscheid gemaakt op grond van dimensies van drinkwaterleidingen of voor type PE.

De afleiding van de grenswaarden is niet goed gedocumenteerd. Voor de vaststelling van de signaalwaarden is vermoedelijk de methodiek van Vonk (1985) als basis genomen, in combinatie met *expert judgement*.

De signaalwaarden voor grondwater voor PE-drinkwaterleidingen voor de geselecteerde contaminanten zijn opgenomen in Tabel 4.1 (KIWA, 2004) en in Waterwerkblad 2.2 C, Bijlage 1, Toetsingstabel voor de beoordeling van permeatie door PE drinkwaterleidingen, www.infodwi.nl (gezien 20-02-2015).

Tabel 4.1. Signaalwaarden grondwater voor PE-drinkwaterleidingen (KIWA, 2004) en streef- en interventiewaarden grondwater (ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013).

Contaminantnaam	Signaal- waarde µg/L	Streef- waarde µg/L	Interventie- waarde µg/L
Aromatische verbindingen:			
Benzeen	10	0,2	30
Ethylbenzeen	10	4	150
Tolueen	15	7	1000
PAKs:			
Naftaleen	0,5	0,01	70
Gechloreerde koolwaterstoffen:			
Vinylchloride	-	0,01	5
1,2-dichloorethaan	20	7	400
1,1-dichlooretheen	-	0,01	10
1,2-dichlooretheen (cis)	-	0,01 ^{**}	20 ^{**}
1,2-dichlooretheen (trans)	-	0,01 ^{**}	20 ^{**}
1,1,1-trichloorethaan	10	0,01	300
Trichlooretheen (tri)	10	24	500
Tetrachlooretheen (per)	25	0,01	40
Overige:			
Pyridine	-	0,5	30
Tetrahydrofuran	-	0,5	300
MTBE (Methyl-tert-buthyl ether)	306/ 4600 [*]	-	9400 ^{***}
ETBE (Ethyl tert-butyl ether)	110/ 1600 [*]	-	-
Dimethylftalaat	-	-	-

* Voorgestelde waarden voor LDPE (PE40) uitgaande van een toelaatbare drinkwaterconcentratie van 1 µg/L, respectievelijk 15 µg/L (Meerkerk, 2008)

** De som van cis en trans 1,2-dichlooretheen

*** Betreft een indicatief niveau voor ernstige verontreiniging.

- Geen norm beschikbaar.

4.2 Risicobeoordeling in het kader van de Wet bodembescherming

In de Circulaire bodemsanering (ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013) staan streef- en interventiewaarden voor grondwater vermeld voor ruim honderd contaminanten.

De interventiewaarde wordt gebruikt voor de aanduiding van een geval van ernstige grondwaterverontreiniging. Er is sprake van een geval van ernstige grondwaterverontreiniging indien voor ten minste één stof de gemiddelde gemeten concentratie in minimaal 100 m³ poriënverzadigd bodemvolume hoger is dan de interventiewaarde.

Interventiewaarden geven de grens aan waarboven onaanvaardbare humane en/of ecotoxicologische risico's niet zonder meer zijn uit te sluiten.

Streefwaarden geven de grens aan tussen schoon en licht verontreinigd grondwater. Streefwaarden zijn gebaseerd op het risico voor aquatische ecosystemen. De streefwaarden gaan uit van Verwaarloosbare Risico's (VR) voor het ecosysteem ($MTR_{eco}/100$). Voor van nature voorkomende stoffen wordt de achtergrondconcentratie daarbij opgeteld.

Streef- en interventiewaarden grondwater worden generiek toegepast en hebben geen relatie met de lokale functie of het lokale gebruik van bodem en grondwater.

In paragraaf 4.2.1 tot en met 4.2.3 wordt ingegaan op de humaan-toxicologische risicobeoordeling met betrekking tot drinkwater, welke onderdeel uitmaakt van de afleiding van interventiewaarden. De streef- en interventiewaarden voor de contaminanten van deze studie zijn gegeven in tabel 4.1.

4.2.1 *Humaan-toxicologische risicobeoordeling*

De risicobeoordeling in het kader van de Wbb heeft onder meer als doel het voorkomen van onaanvaardbare gezondheidsrisico's bij levenslange blootstelling door verontreiniging van bodem en grondwater.

De levenslang gemiddelde blootstelling wordt getoetst aan het Maximum Toelaatbaar Risiconiveau voor de mens (MTR_{humaan}). Baars (2001) definieert het MTR_{humaan} (in Engels het MPR_{human}) als volgt:

'The MPR_{human} is defined as the amount of a substance (usually a chemical substance) that any human individual can be exposed to daily during full lifetime without significant health risk.'

Voor een gedetailleerde beschrijving van de humaan-toxicologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging zie Swartjes en Cornelis (2011).

4.2.2 *Blootstelling door het gebruik van drinkwater*

De blootstelling wordt berekend conform het formularium van het blootstellingsmodel CSOIL 2000 (Brand et al., 2007). Het CSOIL-formularium is onderdeel van de risico-beoordelingsmethodiek Sanscrit voor de bepaling van de blootstelling van de mens en de gezondheidsrisico's.

De mens wordt via drie routes blootgesteld aan contaminanten die via permeatie de drinkwaterleidingen binnendringen: de consumptie van drinkwater, de inhalatie van dampen tijdens het douchen en dermaal contact met water tijdens het douchen. De consumptie van verontreinigd drinkwater draagt, in vergelijking met de inhalatieve en dermale blootstelling vanuit drinkwater, het meeste bij aan de totale blootstelling.

De concentratie in het drinkwater na permeatie wordt als volgt berekend (Brand et al., 2007):

$$C_{dw} = D_{wconst} * D_{pe} * C_{gw} * LP \quad (\text{Vergelijking 4.1})$$

C_{dw}	: concentratie in drinkwater	$[\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}]$
D_{wconst}	: drinkwaterconstante	$[\text{dag} \cdot \text{m}^{-3}]$
D_{pe}	: permeatiecoëfficiënt PE-waterleiding	$[\text{m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}]$
C_{gw}	: concentratie grondwater	$[\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}]$
LP	: diameter verontreinigd gebied, gelijk aan lengte van de PE-buis waarover permeatie plaatsvindt	$[\text{m}]$

Hierin wordt de drinkwaterconstante als volgt berekend:

$$D_{wconst} = (2 * d_1 * 3 * \pi * r) / (d * Q_{wd}) \quad (\text{Vergelijking 4.2})$$

d_1	: fractie tijdsduur van stagnatie in de waterleiding (dimensieloos)	$[8 \text{ h}/24 \text{ h}; 0,33]$
r	: straal van de waterleiding	$[0,0098 \text{ m}]$
d	: de dikte van de wand van de waterleiding	$[0,0027 \text{ m}]$
Q_{wd}	: gemiddeld waterverbruik	$[0,5 \text{ m}^3/\text{d}]$

De beschreven methodiek voor de bepaling van de permeatie werd toegepast voor de eerste versie van CSOIL (Van den Berg, 1995 en van den Berg, 1997). Aan de methodiek en de hoogte van permeatiecoëfficiënten ligt een interpretatie van het onderzoek van Vonk (1985) ten grondslag. Dit onderzoek vormt ook de basis van het huidige CSOIL (Brand et al., 2007).

De relevante parameters zijn samengevat in Tabel 4.2 (Otte et al., 2001). Opgemerkt wordt dat voor de modelberekening de diameter van het verontreinigd gebied gelijk is aan de lengte van de drinkwaterleiding waarover permeatie plaatsvindt. Bij kortere aansluitleidingen is de permeatie dientengevolge evenredig kleiner. Voor de risicobeoordeling volgens de Wbb (CSOIL en Sanscrit) wordt uitgegaan van de diameter van het verontreinigd gebied en dus de standaardlengte van de waterleiding van 100 m.

Een verschil met de signaalwaarden (ministerie van VROM, 1989) is dat het blootstellingsrisico met CSOIL wordt beoordeeld op basis van een gemiddelde concentratie gedurende de dag, in plaats van een maximale concentratie in drinkwater na acht uur stagnatie.

Tabel 4.2. Relevante parameters voor de berekening van de permeatie door drinkwaterleidingen (Otte et al., 2001).

Blootstellingsparameters van permeatie in drinkwater	Symbool	Waarde	Eenheid
Drinkwaterconstante	Dwconst	45,6	[d.m ⁻³]
Diameter verontreinigd gebied	LP	100	[m]
Fractie tijdsduur van stagnatie in de waterleiding	d1	0,33	[-]
Straal van de drinkwaterleiding	R	0,0098	[m]
Dikte van de wand van de drinkwaterleiding	d	0,0027	[m]

4.2.3

Blootstelling via drinkwater ten opzichte van de totale blootstelling

Voor de humaan-toxicologisch onderbouwde risicogrenswaarden die ten grondslag liggen aan de interventiewaarden, is de blootstelling via consumptie en gebruik van drinkwater in het algemeen klein ten opzichte van de totale blootstelling. Voor 15 van de 134 contaminanten is de berekende blootstelling via drinkwater groter dan 5% van de totale blootstelling. Het betreft cresolen, enkele chloorfenolen en ftalaten, d-HCH, carbaryl, pyridine, tetrahydrofuraan en tetrahydrothiofeen (Lijzen et al., 2001).

4.3

Buitenlandse methodieken

Via een e-mailenquête zijn de methodieken in beeld gebracht die in het buitenland worden toegepast om permeatie door drinkwaterleidingen te kwantificeren. Hiertoe zijn contactpersonen van elf landen met een 'nationaal blootstellingsmodel' vergelijkbaar met CSOIL benaderd. De resultaten zijn samengevat in Tabel 4.3.

Een aantal landen (Australië, Frankrijk, VK) hebben permeatie niet in de wetgeving opgenomen, maar er wel onderzoek naar uitgevoerd.

De belangrijkste conclusies uit deze e-mailenquête zijn:

- Permeatie door drinkwaterleidingen wordt in veel blootstellingsmodellen niet beschouwd.
- Een aantal landen meet de drinkwaterkwaliteit in de drinkwaterleidingen, en toetst deze.
- Een aantal landen beschrijft de permeatie identiek aan de methodiek zoals opgenomen in CSOIL.
- In geen van de landen wordt een methodiek gehanteerd, die in deze studie kan worden toegepast.

Tabel 4.3. Samenvatting van de resultaten uit een e-mailenquête, met als doel de methodieken in beeld te krijgen die in het buitenland worden toegepast om de permeatie door drinkwaterleidingen, en de daaruit resulterende blootstelling via drinkwater, te kwantificeren.

	Permeatie beschouwd in wetgeving	Methodiek berekening Permeatie gelijk aan CSOIL	Directe meting uitgevoerd van concentratie in drinkwater	Methodiek voor bepalen permeatie	Scenario voor permeatie
Australië (Victoria)		Ja	Ja	Koo, Dae Hyun, 2012	Volgens US EPA en RISC; gebruikmakend van de Guidance on Environmental Health Risk Assessment (enHealth, 2012)
België (Vlaanderen)	Ja	Ja		Volgens VlierHumaan (d.w.z. analoog aan CSOIL)	Volgens VlierHumaan (d.w.z. analoog aan CSOIL)
Denemarken	Ja			Miljøministeriets Danmark (2012)	Rapport in het Deens
Duitsland	Ja			Procedure niet duidelijk	Procedure niet duidelijk
Finland	Ja	Ja		Analoog aan CSOIL	Analoog aan CSOIL
Frankrijk			Ja		
Italië					Toetsing van de waterkwaliteit bij het <i>point of compliance</i> met grondwaternormen
Polen					Er bestaan drinkwaternormen, afgeleid van de WHO-richtlijnen
Zweden					
VK			Ja		
VS				US EPA (2002)	

5 Uitgangspunten voor de afleiding van risicogrenswaarden

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de uitgangspunten die gebruikt kunnen worden voor de afleiding van risicogrenswaarden voor grondwater dat in contact staat met PE-drinkwaterleidingen.

De risicogrenswaarde voor grondwater is als volgt gedefinieerd: 'De maximale concentratie van een stof in grondwater waarbij onder standaardcondities de concentratie in het drinkwater de gestelde norm niet overschrijdt.'

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de keuzes voor het toetscriterium (de gestelde norm) en voor de standaardcondities (waaronder de toetsperiode).

5.1 Toetscriteria drinkwater

Voor de afleiding van risicogrenswaarden voor grondwater dat in contact staat met PE-drinkwaterleidingen, zijn drie toetscriteria bediscussieerd:

- De bepalingsgrens.
- De drinkwaternorm.
- Het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau voor de mens (MTR_{humaan}) en de daaruit resulterende concentratie in het drinkwater, afgeleid op basis van de blootstelling via alle relevante blootstellingsroutes, inclusief de blootstelling door de consumptie en het gebruik van drinkwater.

In de begeleidingsgroep werd besloten om alleen de drinkwaternorm als toetscriterium te beschouwen, omdat dit aansluit bij de Europese wetgeving.

In het Drinkwaterbesluit (Staatscourant, 2011a) zijn de normen voor de kwaliteit van het drinkwater op het leveringspunt en op het tappunt vermeld. Voor specifieke contaminanten zijn maximumwaarden vastgesteld (tabel II, Bijlage A van het Drinkwaterbesluit). Voor antropogene stofgroepen worden indicator-signaleringsparameters vastgesteld (tabel IIIc, Bijlage A van het Drinkwaterbesluit). De drinkwaternormen zijn voor een deel gebaseerd op de WHO-methodiek (WHO 2011), maar er zijn ook normen gebaseerd op voorzorg (Roels et al., 2014; RIVM-rapport 2014-0138, bijlagenrapport). Voor genotoxisch carcinogene contaminanten is het toelaatbare risico gesteld op een extra tumor van 1 op 1.000.000 bij levenslange blootstelling. Voor niet genotoxisch carcinogene stoffen wordt uitgegaan van het MTR_{humaan} , waarbij uit wordt gegaan van 80% achtergrondblootstelling en 20% blootstelling via de route drinkwaterconsumptie.

Daarnaast speelt ook de detectiegrens een rol bij de vaststelling van de uiteindelijke waarde voor de drinkwaternorm. De meeste Nederlandse drinkwaternormen zijn internationaal vastgelegd in de Europese drinkwaterrichtlijn (98/83/EC). In tabel 5 zijn de drinkwaternormen opgenomen voor de geselecteerde contaminanten.

Tabel 5. Drinkwaternormen ($\mu\text{g/L}$).

Parameter (stofnaam)	Maximum waarde
Aromatische verbindingen:	
Benzeen	1
Ethylbenzeen	1
Tolueen	1
PAKs	
Naftaleen	0,1
Koolwaterstoffen:	
Vinylchloride	0,1
1,2-dichloorethaan	3
1,1-dichlooretheen	1
1,2-dichlooretheen (cis)	1
1,2-dichlooretheen (trans)	1
1,1,1-trichloorethaan	1
Som Trichlooretheen (tri) en Tetrachlooretheen (per)	10
Overige:	
Pyridine	1
Tetrahydrofuran	1
MTBE (Methyl-tert-buthyl ether)	1
ETBE (Ethyl tert-butyl ether)	1
Dimethylftalaat	1

5.2 Toetsperiode drinkwater

Gedurende de dag zal de drinkwaterconcentratie ten gevolge van permeatie geleidelijk oplopen, totdat water gebruikt wordt en de concentratie instantaan tot nul daalt. Hierna volgt weer een nieuwe periode van 'oplading' van drinkwater. Aan het eind van de relatief lange stagnatieperiode gedurende de nacht zal de concentratie haar maximum bereiken (piekconcentratie). De toetsing van de drinkwaterkwaliteit en de berekening van risicogrenswaarden kan op verschillende wijzen plaatsvinden. Twee opties werden bediscussieerd:

- Toets aan de gemiddelde concentratie in het drinkwater gedurende 24 uur, met inbegrip van een periode van acht uur stagnatie.
- Toets op de piekconcentratie in het drinkwater na acht uur stagnatie in de drinkwaterleiding.

Toetsing aan een berekende piekconcentratie is een voorzichtige toetsing, waarbij geen rekening wordt gehouden met menging in de buis (bijvoorbeeld door verdunning) en het drinkwater op elk moment en plaats aan de norm voldoet. Dit is een meer voorzichtige toetsing dan een toetsing aan de gemiddelde concentratie en leidt daarom tot strengere (lagere) risicogrenswaarden in grondwater. Dit uitgangspunt ligt ten grondslag aan de vigerende signaalwaarden. De gemiddelde concentratie (over 24 uur) is richtinggevend voor de inschatting van

gezondheidsrisico's bij levenslange blootstelling en wordt toegepast in risicomodellen als CSOIL en de risico-beoordelingsmethodiek Sanscrit.

Het Drinkwaterbesluit (Staatscourant, 2011a) vermeldt niet expliciet of het drinkwater te allen tijde (dus ook na acht uur stagnatie) moet voldoen aan de drinkwaternorm of gemiddeld op 24-uurs basis. De voorgeschreven steekproefmethode voor bemonstering gaat uit van een methode waarbij een gemiddelde concentratie wordt gemeten. De drinkwaternormen zijn over het algemeen afgeleid op basis van een Verwaarloosbaar Risiconiveau ($MTR_{\text{humaan}}/100$); gemiddelde concentraties sluiten daar bij aan. Een toetsing aan een berekende signaalwaarde op basis van gemiddelde concentraties is daarom een realistische en met betrekking tot de risico's voor de gezondheid een acceptabele keuze. Daarom werd in de begeleidingsgroep besloten deze optie uit te werken

5.3 Meting concentratie in grondwater

De concentratie in het grondwater wordt vastgesteld met een bodemonderzoek. Hiervoor zijn verschillende protocollen en voorschriften opgesteld. Een veel toegepast protocol is NEN 5740, Bodem – Landbodemonderzoek – Strategie voor het uitvoeren van verkennend bodemonderzoek – Onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond. Op basis van dit protocol wordt het aantal peilbuizen, het aantal grondwatermonsters en de wijze van grondwaterbemonstering bepaald. Daarnaast beheert SIKB (Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer) verschillende beoordelingsrichtlijnen (BRL's) en bijbehorende protocollen. Een deel van de protocollen betreft onderzoek naar en sanering van verontreiniging bij bodem en grondwater, waaronder analyses, veldwerk, sanering en nazorg door bedrijven en de beoordeling door het bevoegd gezag (zie <http://www.sikb.nl/protocollen>).

6 Voorstel voor de beoordeling van permeatierisico's

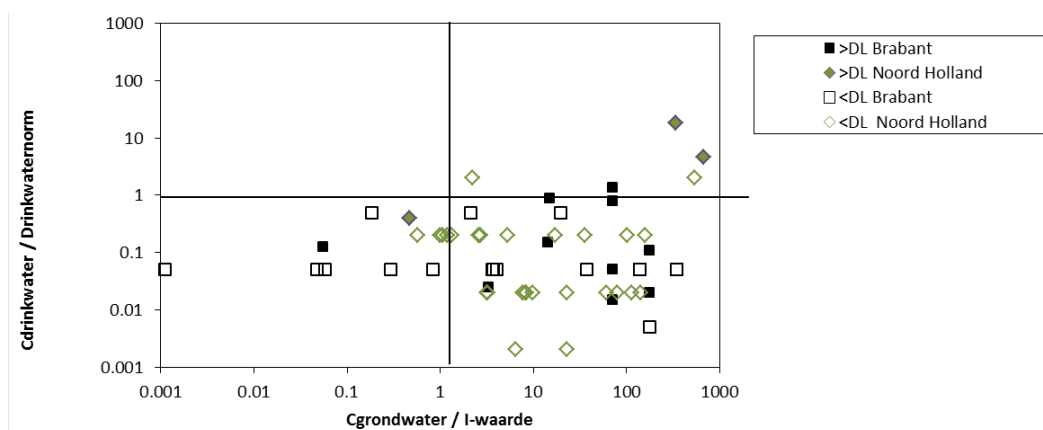
6.1 Schatting van het permeatierisico op basis van praktijkmetingen

Door PWN en Brabant Water zijn zestig praktijkmetingen uitgevoerd van concentraties in grondwater en drinkwater op locaties met ernstige bodemverontreiniging met vermoeden van permeatie. Uit de analyse (Van der Schans, 2016) van de meetgegevens blijkt dat er in de praktijk geen situaties voorkomen waarbij de gemeten concentratie in drinkwater de drinkwaternorm overschrijdt bij concentraties in grondwater beneden de interventiewaarden.

In figuur 3 is dit in beeld gebracht. De gemeten piekconcentratie in drinkwater wordt vergeleken met de interventiewaarde (x-as) en de drinkwaternorm (y-as). Bij grondwaterconcentraties onder de interventiewaarden worden geen overschrijdingen van de drinkwaternorm gemeten (onderste kwadrant links). Ook bij grondwaterconcentraties (ver) boven de interventiewaarde liggen de gemeten piekconcentraties in het drinkwater vrijwel allemaal onder de drinkwaternorm (onderste kwadrant rechts).

Slechts bij zeer forse overschrijding van de interventiewaarde grondwater worden verontreinigingen in het drinkwater boven de drinkwaternorm gemeten (bovenste kwadrant rechts).

Overschrijding van de drinkwaternorm direct na acht uur stagnatie van het drinkwatergebruik (de piekconcentratie) is in deze set van praktijkmetingen niet geconstateerd bij verontreinigd grondwater onder de interventiewaarde. Overschrijding van de drinkwaternorm van de etmaal-gemiddelde concentratie in drinkwater is daarmee onwaarschijnlijk indien de grondwaterconcentratie waarmee de PE-waterleidingbuis in contact staat onder de interventiewaarde ligt.



Figuur 3. Vergelijking van gemeten concentraties in grondwater gedeeld door de interventiewaarde (x-as) met gemeten concentraties in het drinkwater gedeeld door de drinkwaternorm (y-as), uit Van der Schans (2016).

6.2 Ontwikkeling permeatiemodel

Als onderdeel van de methodiekontwikkeling is onderzoek gedaan naar een robuust model om het risico op permeatie van contaminanten door polyethyleen (PE-) huisaansluitingen naar drinkwater te voorspellen onder veldcondities. Deze studie is beschreven in een separaat rapport, 'Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen drinkwaterleidingen. Ontwikkeling permeatiemodel en onderbouwing risicogrenswaarden.' (Van der Schans et al., 2016).

Voor de modelontwikkeling is de permeatie van contaminanten vanuit grondwater door PE-drinkwaterleidingen onderverdeeld in een aantal processen, zoals aangegeven in hoofdstuk 2 van dit rapport.

Voor het onderzoek (Van der Schans et al., 2016) zijn drie modellen bestudeerd die concentraties in drinkwater voorspellen ten gevolge van permeatie van stoffen uit verontreinigd grondwater door de PE-drinkwaterleiding. Deze modellen zijn:

- een analytisch model dat ontwikkeld is door Vonk (1985);
- een nieuw empirisch model op basis van praktijkwaarden;
- een eindig differentiemodel.

Daarnaast zijn vijf methoden beschreven om permeatiegerelateerde coëfficiënten te bepalen:

- Gerapporteerde labmetingen (literatuurwaarden).
- De huidige parameters van CSOIL (van der Berg 1995), het humane blootstellingsmodel dat onderdeel uitmaakt van het Sanscrit-beoordelingssysteem.
- Het model van Simoneau (2010) dat wordt toegepast in de Leidraad permeatie.
- Een specifiek voor dit onderzoek ontwikkeld 'regressiemodel.'
- Schattingen op basis van praktijkmetingen door drinkwaterbedrijven.

Uit de studie blijkt dat de modellen in vergelijking met de praktijkmetingen de permeatie in hoge mate kunnen overschatten. Het 'regressiemodel', in combinatie met het eindig differentiemodel (zie voor de achtergronden Van der Schans et al, 2016) levert de beste schatting op.

Vanuit de doelstelling van deze studie, het verbeteren van de methodiek voor de beoordeling van permeatierisico's, is overschatting van het risico, mits binnen zekere grenzen, geen groot probleem. Immers, op basis van conservatieve modelberekeningen kunnen risico's zo met vrij grote zekerheid worden uitgesloten.

Indien met het model de risico's voor de drinkwaterkwaliteit niet kunnen worden uitgesloten, kunnen conform het stappenplan (zie paragraaf 6.5) verificatiemetingen worden uitgevoerd in het drinkwater.

Op basis van de modelstudie wordt geadviseerd om de parameterisatie van diffusiecoëfficiënten in CSOIL en Sanscrit aan te passen op basis van het 'regressiemodel'. De huidige analytische benadering van het permeatieproces volstaat wanneer wordt uitgegaan van toetsing op basis van een gemiddelde concentratie in drinkwater. Bij toetsing op basis van piekconcentraties na acht uur stilstand is het wenselijk om te rekenen met het eindige differentiemodel.

6.3 Modelleren van risicogrenswaarden

Met het ontwikkelde 'regressiemodel' zijn risicogrenswaarden berekend (Van der Schans et al., 2016).

In hoofdstuk 5 is de risicogrenswaarde voor grondwater als volgt gedefinieerd:

'De maximale concentratie van een stof in grondwater waarbij onder standaardcondities de concentratie in het drinkwater de gestelde norm niet overschrijdt.'

Voor de berekening van de risicogrenswaarden worden de volgende standaardcondities gehanteerd:

- tijdsduur stagnant drinkwater per etmaal (Δt) van 8 uur (28800 s);
- leidinglengte (L) in contact met verontreinigd grondwater: 25 m;
- inwendige diameter 21 mm ($r_i = 0.00105$ m);
- dikte PE buiswand (d) 2.7 mm voor PE 40 (0.0027 m) en 2.0 mm voor PE 80 (Kiwa Nederland B.V., 2012);
- temperatuur: 12 °C;
- watergebruik per huishouden 0.5 m³/dag (500 liter/dag);
- lengte huisaansluiting 25 meter.

De drinkwaternorm wordt gehanteerd als toetscriterium. De gemiddelde concentratie in het drinkwater gedurende 24 uur, waarbinnen een periode van acht uur stagnatie, (zie paragraaf 5.2) mag de drinkwaternorm niet overschrijden (zie paragraaf 5.1).

Voor de interpretatie van de modelresultaten zijn de conclusies uit het onderzoek van Van der Schans et al. (2016) van belang. Uit dat onderzoek blijkt dat de modellen in vergelijking met de praktijkmetingen de permeatie in hoge mate overschatten. De berekende risicogrenswaarden worden dan ook door Van der Schans gekarakteriseerd als 'indicatief'. De met het model berekende indicatieve risicogrenswaarden staan in Tabel 6.

De berekende risicogrenswaarden zijn veel hoger dan de huidige signaalwaarden, wat conform de verwachting is van het onderzoek. De berekende risicogrenswaarden voor PE 40 liggen, met uitzondering van toluen en naftaleen, allen (ruim) boven de interventiewaarden grondwater.

De risicogrenswaarden voor PE80 liggen gemiddeld een factor 7-12 hoger dan de risicogrenswaarden voor PE40.

Uit de modelberekeningen van van der Schans et al. (2016) blijkt dat de piekconcentraties van een factor twee (naftaleen, ethylbenzeen) tot maximaal een factor 20 hoger liggen dan de etmaal-gemiddelde concentraties.

Tabel 6. Indicatieve risicogrenswaarden voor grondwater, de interventiewaarden, de signaalwaarden en de drinkwaternorm (Van der Schans et al., 2016). Concentraties in µg/L.

Contaminant	Indicatieve risicogrenswaarde ¹⁾		Drinkwater-norm	Signaal-waarde ²⁾	Interventi-e-waarde ³⁾
	PE40	PE80			
Benzeen	1800	15000	1,0	10	30
Ethylbenzeen	270	1900	1,0	10	150
Tolueen	560	4200	1,0	15	1000
Naftaleen	33	220	0,1	0,5	70
Vinylchloride	450	4300	0,1	-	5
1,2-dichloorethaan	60000	580000	3,0	-	400
1,1-dichlooretheen	3200	27000	1,0	-	10
1,2-dichlooretheen (cis)	5300	47000	1,0	-	20
1,2-dichlooretheen (trans)	41000	430000	1,0	-	20
1,1,1-trichloorethaan	1800	13000	1,0	10	300
Trichlooretheen	2600	20000	1,0	10	500
Tetrachlooretheen	8300	55000	10	25	40
Pyridine	110000	1300000	1,0	-	30
Tetrahydrofuran	130000	1600000	1,0	-	300
MTBE (Methyl-tert-buthyl ether)	60000	650000	1,0	306	9400
ETBE (Ethyl-tert-butyl ether)	7500	67000	1,0	110	-
Dimethylftalaat	230000	2200000	1,0	-	5

- 1) Uit Van der Schans et al., 2016 (tabel 7-1). De grenswaarden zijn op basis van de etmaal-gemiddelde concentratie, waarbinnen een periode van acht uur stagnatie. Grenswaarden zijn afgerond op twee significante cijfers.
- 2) Signaalwaarden uit de Waterwerkbladen (KIWA Nederland B.V., 2004).
- 3) De interventiewaarden uit de Circulaire bodemsanering (ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013). De interventiewaarden voor naftaleen en dichlooretheen (cis en trans) zijn somparameters.

Het onderzoek van Van der Schans et al. (2016) wees uit dat de modellen in vergelijking met de praktijkmetingen de permeatie in hoge mate overschatten. Het model waarmee de risicogrenswaarden zijn berekend is conservatief van aard. Daaruit volgt dat permeatieberekeningen vooral van waarde zijn voor het uitsluiten van risico's voor de drinkwaterkwaliteit maar dat ze een beperkte waarde hebben voor het afleiden van risicogrenswaarden.

Voor de modelonzekerheid worden onder meer de volgende oorzaken genoemd:

- Er is een kennislacune geconstateerd van de dynamische desorptie van contaminanten met een hoge lipofiliteit ($\log K_{ow} > 4$). Deze contaminanten kunnen volgens de huidige modellen zeer snel door polyethyleen dringen, maar worden in de praktijk nooit waargenomen in drinkwater. Het is aannemelijk dat stoffen met een hoge lipofiliteit buiten het toepassingsdomein vallen van de onderzochte modellen.

- De mate waarin opgeloste contaminanten in grondwater beschikbaar zijn voor permeatie, is discutabel. Dit hangt samen met de gehanteerde monsternamen, ontsluiting en analysemethode voor grondwatermonsters.
- Het is de vraag in hoeverre er afbraak plaatsvindt door de overgang naar een oxisch milieu in de drinkwaterleiding. Afbraak wordt in de onderzochte modellen niet beschouwd.
- Een beperking van bestaande experimentele onderzoeken is dat de gekozen proefopstellingen de dynamische situatie die in een drinkwaterleiding optreedt, niet goed nabootst. Het effect van intermitterend acht uur stilstand, gevolgd door zestien uur normaal gebruik van drinkwater (dit betekent een onregelmatige doorspoeling van de drinkwaterleiding) is niet eerder experimenteel bepaald.

6.4 Het gebruik van de interventiewaarde grondwater als 'triggerwaarde'

Uit het onderzoek naar de modellering van permeatie (Van der Schans et al., 2016) is geconcludeerd dat modellen in vergelijking met de praktijkmetingen de permeatie in hoge mate overschatten. Vervolgens is geconcludeerd (zie paragraaf 6.3) dat permeatieberekeningen vooral van waarde zijn voor het uitsluiten van risico's voor de drinkwaterkwaliteit, maar een beperkte waarde hebben voor het afleiden van risicogrenswaarden.

Op basis van de analyse van praktijkmetingen (zie paragraaf 6.1) werd vastgesteld dat overschrijding van de drinkwaternorm onwaarschijnlijk is bij grondwaterconcentraties onder de interventiewaarden. De interventiewaarde grondwater kan daarom fungeren als een veilige 'triggerwaarde' om gevallen met mogelijke risico's voor de drinkwaterkwaliteit aan te merken en nader onderzoek te starten.

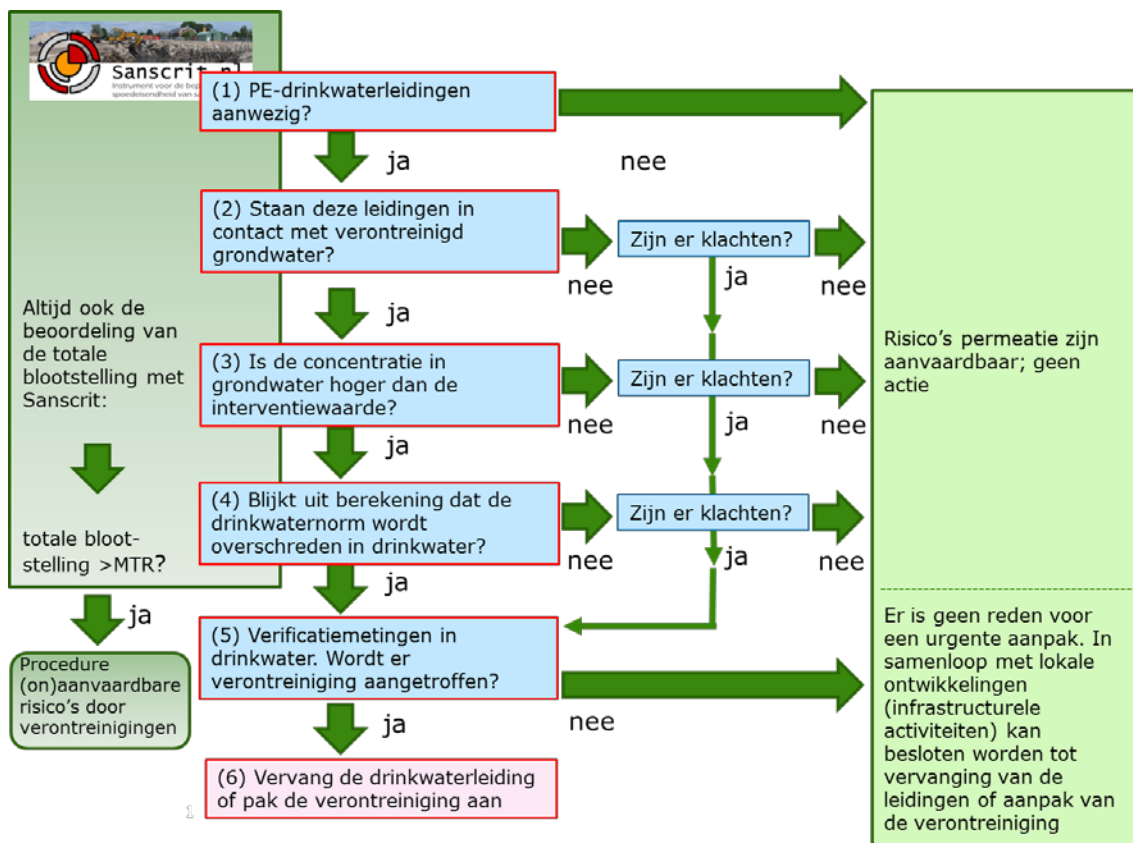
Een bijkomend voordeel is dat het gebruik van de interventiewaarde als trigger voor potentiële risico's ten gevolge van permeatie in lijn is met de regelgeving voor de aanpak van ernstige grondwaterverontreiniging. De Wbb hanteert de interventiewaarde voor bodem en grondwater om situaties met een potentieel risico te aan te wijzen. Indien er een potentieel risico aanwezig is, volgt nader onderzoek. Voor onderzoek naar permeatierisico's kan dergelijk onderzoek volgens het stappenplan plaatsvinden (zie paragraaf 6.5).

Omdat een afwijkende situatie, een calamiteit of een meetfout (van de grondwaterconcentratie) nooit is uit te sluiten, blijft de aandacht voor eventuele smaak- en geurklachten belangrijk. Het stappenplan dient daarin te voorzien.

Daarom wordt voorgesteld om uit te gaan van een triggerwaarde op interventiewaarde niveau. In paragraaf 6.1 is aangetoond dat op basis van praktijkmetingen de interventiewaarde een veilige 'trigger' is voor het uitsluiten van risico's voor de drinkwaterkwaliteit door permeatie.

6.5 Stappenplan voor de beoordeling van het permeatierisico

In Figuur 4 zijn de stappen van de risicobeoordeling schematisch weergegeven.



Figuur 4. Stappenplan voor de beoordeling van het permeatierisico door organische verontreinigingen bij PE-drinkwaterleidingen.

De eerste stap is het vaststellen van de aanwezigheid van een PE-drinkwaterleiding (stap 1). Indien deze drinkwaterleiding aanwezig zijn, wordt onderzocht of de drinkwaterleiding in contact staat met organische verontreinigingen (stap 2). Indien dit het geval is, wordt vervolgens getoetst of de concentratie van de organische verontreiniging hoger is dan de interventiewaarde (3) en er derhalve mogelijk sprake is van een ernstige verontreiniging. In geval van een ernstige verontreiniging van bodem of grondwater volgt altijd een beoordeling met Sanscrit. Hierbij wordt de totale blootstelling (via alle relevante blootstellingsroutes) getoetst aan het MTR_{humaaan} . Voor de beoordeling van permeatierisico's wordt een berekening uitgevoerd met het permeatiemodel. De berekende drinkwaterconcentratie wordt getoetst aan de drinkwaternorm (stap 4). Indien uit de berekening blijkt dat de drinkwaternorm mogelijk wordt overschreden, wordt geadviseerd verificatiemetingen uit te voeren (stap 5). De meetresultaten kunnen aanleiding geven tot maatregelen (stap 6), zoals het vervangen van de drinkwaterleiding of de aanpak van het verontreinigd grondwater.

Volgens het stappenplan leiden smaak- en geurklachten in alle gevallen tot verificatiemetingen, mits er kunststofleidingen (vooral PE) aanwezig zijn, in combinatie met de aanwezigheid van organische verontreinigingen. Bij onderzoek vanwege klachten dient de onderzoeker ook andere oorzaken dan permeatie van verontreinigingen door de waterleiding in overweging te nemen.

Verificatiemetingen (stap 5) worden uitgevoerd na een periode van acht uur stagnatie (het drinkwater dient een periode van acht uur niet te worden gebruikt).

Er kunnen situaties voorkomen waarbij een waterbedrijf wordt benaderd door bewoners met smaak- en geurklachten. Voor deze gevallen is het belangrijk dat er een meting wordt uitgevoerd. Daarom is er in het stappenplan aandacht voor smaak- en geurklachten.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Drinkwaterleidingen kunnen in contact staan met verontreinigd grondwater. Hoewel er hoge kwaliteitseisen aan drinkwaterleidingen worden gesteld, kunnen organische verontreinigingen in grondwater door de wand van kunststof-leidingen dringen en zich verplaatsen naar het drinkwater in de waterleiding. Permeatie is het hoogst bij polyethyleen drinkwaterleidingen. De drinkwatermaatschappijen hanteren signaalwaarden voor grondwater om het risico van permeatie te kunnen beoordelen. Het bevoegd gezag bodemsanering gebruikt het risico-beoordelingsmodel Sanscrit om het risico van bodem- en grondwaterverontreiniging te beoordelen. Het risico van het gebruik van drinkwater na permeatie maakt daar deel van uit. Beide beoordelingsmethoden kunnen leiden tot verschillende handelingsperspectieven.

Het doel van deze studie is om de methodiek voor de beoordeling van permeatierisico's te verbeteren en op basis van deze verbeterde methodiek de signaalwaarden uit 1989 te herzien. In overleg met de begeleidingsgroep leidde dit uiteindelijk tot een stappenplan voor de beoordeling van permeatierisico's waarin ook de mogelijkheid van verificatiemetingen is opgenomen.

Uit deze studie resulteren de volgende conclusies en voorstellen.

Over de huidige benadering en de uitgevoerde studie:

- In de Waterwerkbladen worden, uitgaande van een 'worst-case'-situatie, op het voorzorgsprincipe gebaseerde signaalwaarden gehanteerd. De afleiding van de vigerende signaalwaarden is niet goed herleidbaar.
- De beoordeling van het permeatierisico conform de Circulaire bodemsanering is gebaseerd op de berekening van de levenslang gemiddelde blootstelling en toetsing aan het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR_{humaaan}) voor de mens.
- Voor dit onderzoek zijn meetgegevens van drinkwatermaatschappijen geanalyseerd en is een internationale enquête gehouden onder risicobeoordelaars van grondwaterverontreiniging.
- Zeventien representatieve contaminanten zijn geselecteerd, waarvoor indicatieve risicogrenswaarden grondwater zijn afgeleid.

Over de voorgestelde aanpak voor de beoordeling van permeatierisico's:

- In overleg met de begeleidingsgroep is besloten de beoordeling van de risico's voor de drinkwaterkwaliteit te baseren op de gemiddelde concentratie in de waterleidingsbuis gedurende 24 uur (waarbinnen acht uur stagnatie) en een toetsing aan de drinkwaternorm.
- De beoordeling kan plaatsvinden op basis van een stappenplan. Geadviseerd wordt om de interventiewaarde grondwater in het stappenplan te gebruiken als 'triggerwaarde'.
- De beoordeling van de risico's van permeatie in CSOIL en Sanscrit wordt aangepast conform de bevindingen van de studie. Met CSOIL

en Sanscrit wordt de drinkwaterconcentratie ten gevolge van permeatie berekend en wordt getoetst of de drinkwaternorm wordt overschreden

- Er is een nieuw model ontwikkeld om het risico op permeatie van contaminanten door polyethyleen (PE-) huisaansluitingen naar drinkwater te voorspellen onder veldcondities. De modelmatige berekening is onderdeel van het stappenplan. De ontwikkeling en de achtergronden van het model zijn gerapporteerd in een separaat rapport (Van der Schans et al., 2016).
- Bij vergelijking tussen de modelresultaten en de veldmetingen blijkt dat het ontwikkelde model de werkelijke permeatie in veel gevallen zal overschatten. Op basis van het model kunnen potentiële risico's voor de drinkwaterkwaliteit worden uitgesloten. Deze benadering past goed in het voorgestelde stappenplan. Voor de beoordeling van het risico worden, volgens het stappenplan, andere factoren mede in beschouwing genomen.

7.2 Aanbevelingen

Uit deze studie resulteert een aantal aanbevelingen.

Voor de uitvoering van de risicobeoordeling wordt geadviseerd:

- Het stappenplan en het bijbehorende permeatiemodel, zoals gedetailleerd beschreven is in 'Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen drinkwaterleidingen.' (Van der Schans et al., 2016), te implementeren in CSOIL en Sanscrit.
- Een verificatiemeting dient altijd plaats te vinden in een 'worst case'-situatie 's ochtends na een periode van acht uur zonder watergebruik. Een meting overdag geeft geen duidelijk beeld, door variatie in het doorspoelregime oftewel de verblijftijd in de huisaansluiting.
- Voor de toekomst wordt geadviseerd om alle praktijkmetingen van permeatie op eenduidige wijze te registreren in een **centrale database**. Dit om de ervaringen met de voorgestelde methodiek (het stappenplan en de berekening volgens het ontwikkelde permeatiemodel) verder te toetsen en, waar nodig, te verbeteren.

Voor het delen van kennis en ervaring wordt geadviseerd:

- Een evaluatiedag met stakeholders en probleembezitters te organiseren.
- De bevindingen in een vakblad (H₂O of Bodem) en/of in een wetenschappelijk tijdschrift te publiceren.

Met betrekking tot modelontwikkeling zijn door Van der Schans (2016) een aantal specifieke aanbevelingen gedaan. Zie hiervoor 'Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen drinkwaterleidingen.' (Van der Schans et al., 2016).

Literatuur

- Baars, A.J., R.M.C. Theelen, P.J.C.M. Janssen, J.M. Hesse, M.E. van Apeldoorn, C.M. Meijerink et al, (2001). 'Re-evaluation of the human-toxicological maximum permissible risk levels.' RIVM-rapport 711701025, RIVM, Bilthoven.
- Berg, R. van der (1995). 'Blootstelling van de mens aan bodemverontreiniging. Een kwalitatieve en kwantitatieve analyse, leidend tot voorstellen voor humaan toxicologische C-toetsingswaarden.' (Herziene versie). RIVM Rapport 725201006, Bilthoven.
- Berg, R. van der (1997). 'Verantwoording van gegevens en procedures voor de 1e tranche interventiewaarden: van RIVM-rapporten naar de Notitie Interventie-waarden bodemsanering.' RIVM Rapport 715810012, Bilthoven.
- Bonte, M., M. van Meerkerk, (2010). 'Bodemverontreinigingen en risico's voor drinkwatervoorziening.' December 2010, BTO 2010.053(s). KWR, Nieuwegein.
- Brand, E. , P.F. Otte, J.P.A. Lijzen, (2007). 'CSOIL 2000 an exposure model for human risk assessment of soil contamination. A model description.' RIVM rapport 711701054, Bilthoven.
- Bromhead, J. (1997). 'Permeation of Benzene, Trichloroethene and Tetrachloroethene Through Plastic Pipes.', LCG Ltd., December 1997.
- Comyn, J. (1985). 'Introduction to polymere permeability and mathematics of diffusion.' In: J. Comyn (Ed.). Polymere permeability, Chapman and Hall, London.
- Miljøministeriets Danmark (2012). Statusvurdering vedr. afgivelse af organiske, stoffer fra plastrør til drikkevand, ISBN nr. 978-87-92903-53-2 (in het Deens met een Engelse samenvatting).
- enHealth, Environmental Health Standing Committee (2012). *Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards*, ISBN 978-1-74241-766-0. Commonwealth of Australia, Department of Health and Aging www.health.gov.au
- Franken, R.O.G., A.J. Baars, G.H. Crommentuijn, P.F. Otte (1999). 'A proposal for revised Intervention values for petroleum hydrocarbons ('minerale olie') on base of fractions of petroleum hydrocarbons.' RIVM-rapport 7117010153/2001, RIVM, Bilthoven.
- Glaza E.C., J.K. Park, (1992). 'Permeation of organic contaminants through gasketed pipe joints.' Journal AWWA, 84(7): 92-100.
- Goodfellow, F., S. K. Ouki, V. Murray (2002). 'Permeation of Organic Introduction 'Chemicals Through Plastic Water-Supply Pipes.', OJ.CIWEM 16: 85-89.
- Heijden, B.G. van der (1985). 'Enkele ervaringen met de permeatie van organische stoffen door kunststof drinkwaterleidingen.' H2O 18, nr 5: 88-95.
- KIWA Nederland B.V. (2004). Waterwerkblad WB 2.2 C 'Leidingmaterialen; Buizen van PE',

<http://www.infodwi.nl/uploadedFiles/Website/VEWIN/WB%202.2%20C.pdf> (mei 2014).

- Kiwa Nederland B.V. (2012). 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa product certificaat voor kunststof leidingsystemen van PE (Polyetheen) voor transport van drinkwater en ruw water.', BRL-K17105-01, Rijswijk.
- Koo, Dae Hyun, (2012). 'Assessment and calculation of BTEX permeation through HDPE water pipe. IUPUI School of Engineering and Technology. Indiana University.'
- Lijzen, J.P.A., A.J. Baars, P.F. Otte, M.G.J. Rikken, F.A. Swartjes, E.M.J. Verbruggen, A.P. Van Wezel (2001). 'Technische evaluatie van de interventiewaarden voor bodem/sediment en grondwater.' RIVM-rapport 711701023/2001, RIVM, Bilthoven.
- Meerkerk, M. van (2008). 'De permeatie van MTBE en ETBE door PVC, PE en EC leidingsmaterialen.' KWR 08.22, 13 juni 2008.
- Meerkerk, M.A. (2010). 'Leidraad voor de toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodem.' KWR Watercycle Research Institute. Nieuwegein.
- Meinardi K., R. van den Berg (Eds.) (2008). 'Basisdocument karakterisering grondwaterkwaliteit voor de Kaderrichtlijn Water.' Auteurs: A.H.W. Beusen, G.J. van den Born, L.J.M. Boumans, B. Fraters B ; J.P.A. Lijzen, A.M.A. van der Linden et al., RIVM-rapport 500003006, RIVM, Bilthoven.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2013). Circulaire bodemsanering, *Staatscourant* 2013 nr. 16675.
- Ministerie van VROM (1989). Notitie 'Omgaan met risico's', bijlage nr. 5 van Nationaal Milieubeleidsplan, ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu. Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 1988-1989, stuk 21.137 nr. 5; SDU uitgeverij, Den Haag.
- Otte P.F., J.P.A. Lijzen, J.G. Otte, F.A. Swartjes, C.W. Versluijs, (2001). 'Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. Proposed parameter set for human exposure modelling and deriving Intervention Values for the first series of compounds.' RIVM report nr. 711701021/2001.
- Otte, P.F., F.A. Swartjes, P. van Beelen (2013). 'Functiespecifieke risicogrenswaarden voor grondwaterkwaliteit. Verkenning en methodiekontwikkeling.' RIVM-rapport 607500012/2013.
- Schans, M.L. van der, P.F. Otte, F.A. Swartjes, M.A. Meerkerk, (2016). 'Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen drinkwaterleidingen. Ontwikkeling permeatiemodel en onderbouwing risicogrenswaarden.' KWR 2016.056.
- Simoneau, C. (ed.) (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
- Staatscourant* (2011a). 'Besluit van 23 mei 2011, houdende bepalingen inzake de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening (Drinkwaterbesluit)', nr.

293, 21 juni 2011, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2011-293.html> (gezien 5 augustus 2013).

Swartjes F.A., C. Cornelis (2011). 'Human health risk assessment.' Chapter 5 in F.A. Swartjes (Ed.). *Dealing with Contaminated sites. From theory towards practical application*. Springer publishers, Dordrecht; 2011.

US EPA (2002). 'Permeation and Leaching.', United States Environmental Protection Agency, Office of Water (4601M)/Office of Ground Water and Drinking Water/ Distribution System Issue Paper, August 15, 2002.

Vonk, M.W. (1985). 'Permeatie van organische verbindingen door leidingmaterialen.', Mededeling nummer 85, Nieuwegein (KIWA N.V.).

WHO (2011). 'Guidelines for drinking-water quality.', fourth edition

World Health Organization 2011.

http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag