



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

Advies meten van vinylchloride in bodem- en binnenlucht

RIVM briefrapport 607711013/2013
A.M. Wintersen | J.P.A. Lijzen | M.R. Ramlal



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

Advies meten van vinylchloride in bodem- en binnenlucht

RIVM briefrapport 607711013/2013
A.M. Wintersen | J.P.A. Lijzen | M.R. Ramlal

Colofon

© RIVM 2013

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.

A.M. Wintersen
J.P.A. Lijzen
M.R. Ramlal

Contact:
Arjen Wintersen
DMG
arjen.wintersen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ministerie van I&M, in het kader van Project Bodemkwaliteit en Risicobeoordeling.

De luchtmetingen in Elst en Barneveld zijn uitgevoerd in opdracht van de Provincie Gelderland.

De luchtmetingen in Utrecht zijn uitgevoerd in opdracht van de gemeente Utrecht, in het kader van het Europese 'Citychlor' project.

Rapport in het kort

Bodems kunnen verontreinigd zijn met oplosmiddelen die gebruikt worden in chemische wasserijen: 'per' (tetrachlooretheen) en 'tri' (trichlooretheen). Hierbij kan vinylchloride (monochlooretheen) als afbraakproduct vrijkomen, een stof die al bij lage concentraties schadelijk is voor de gezondheid. Van vinylchloride is bekend dat het leverschade kan veroorzaken en kankerverwekkend is. De stof is verder zeer vluchtig, waardoor deze kan uitdampen naar de binnenlucht van gebouwen op de verontreinigde locatie. Het is daarom belangrijk om over betrouwbare meetmethoden voor bodem- en binnenlucht te beschikken, waarmee ook relatief lage concentraties van vinylchloride kunnen worden aangetoond.

Vinylchloride blijkt zelden in binnenlucht te worden aangetoond, ook niet als dat volgens modelberekeningen te verwachten is. Het RIVM heeft in een verkennende studie onderzocht of dit ligt aan de meetmethoden of aan de modelberekeningen. Er zijn sterke aanwijzingen dat vinylchloride wordt afgebroken en om die reden niet in de binnenlucht is terug te vinden. Daarom wordt aanbevolen deze stoffeigenschap in de modellering te verwerken voor een betrouwbaardere voorspelling van concentraties vinylchloride in de binnenlucht.

Daarnaast wordt een andere meetmethode voorgesteld als de kansrijkste, op basis van zogeheten canisters. Dat komt onder andere doordat hiermee lagere concentraties gedetecteerd kan worden en langer kan worden gemeten op een locatie. Canisters zijn ballen die vacuüm worden gezogen en op een locatie weer worden volgezogen met de te onderzoeken lucht. Aanbevolen wordt om na te gaan of een protocol voor bodemluchtbemonstering met canisters kan worden opgesteld. Momenteel wordt vinylchloride in bodem- en binnenlucht meestal gemeten met behulp van koolbuizen.

Trefwoorden:

Vinylchloride, bodem- en binnenluchtmetingen, bodem- en grondwaterverontreiniging, risicobeoordeling

Abstract

Measuring vinylchloride in soil air and indoor air

In case of groundwater contaminations with the solvents 'pce' (tetrachloroethene) and 'tce' (trichloroethene), vinylchloride is often found as a breakdown product of the former two substances. Vinylchloride is highly volatile, making it likely that the substance evaporates through the soil into indoor air. Vinylchloride is considered highly toxic, even at low dosages. It is because of these specific properties that it is important to have reliable methods for low level detection of vinylchloride in soil air and indoor air. In practice, vinylchloride is rarely detected in indoor air, even in situations where high concentrations are predicted by volatilization models. The question to be answered is whether this is caused by the applied methods for measurement, or by shortfalls of the models.

Traditionally, vinylchloride is sampled using sorbent tubes. In this report a selection is made of methods for the sampling and analysis of vinylchloride in air. The methods were then applied on two locations in The Netherlands known to be heavily polluted with pce and tce.

Vinylchloride was actually detected in only one soil air sample. This contributes to growing evidence that fast degradation of vinylchloride occurs on a larger scale than has been previously assumed. In this report it is advised to investigate how the existing volatilization models can be improved to enhance the prediction of indoor air concentrations of vinyl chloride.

Keywords:

Vinylchloride, indoor and outdoor air measurements, soil and groundwater contaminations, risk assessment

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 5

Samenvatting 7

1 Inleiding en doel 9

- 1.1 Aanleiding 9
- 1.2 Achtergrondinformatie 10
- 1.3 Meetmethoden en richtlijnen 10
- 1.4 Modelleren van (risico's van) uitdamping 11
- 1.5 Doel 12
- 1.6 Leeswijzer 12

2 Werkwijze inventarisatie meetmethoden 13

3 Resultaten inventarisatie 14

- 3.1 Inleiding 14
- 3.2 Meetmethoden binnenlucht 14
 - 3.2.1 Actieve methoden 14
 - 3.2.2 Passieve methoden 15
- 3.3 Bemonstering en analyse van bodemlucht 20
- 3.4 Aanbevelingen uit inventarisatie 20
 - 3.4.1 Meetmethoden voor binnen- en kruipruimtelucht 20
 - 3.4.2 Meetmethoden voor bodemlucht 21
 - 3.4.3 Aanvullende validatie voor bemonstering en analysemethode 21

4 Metingen vinylchloride in bodem-, kruipruimte- en binnenlucht 22

- 4.1 Van inventarisatie naar toepassing van methoden 22
- 4.2 Doel en leeswijzer Hoofdstuk 4 22
- 4.3 Locaties en werkwijze 22
 - 4.3.1 Gelderland: Barneveld en Elst 22
 - 4.3.2 Utrecht 24
- 4.4 Materialen en methoden 26
- 4.5 Bemonstering 26
 - 4.5.1 Gelderland 26
 - 4.5.2 Utrecht 29
- 4.6 Analyse 30
 - 4.7 Resultaten metingen 30
 - 4.7.1 Resultaten Gelderland 30
 - 4.7.2 Resultaten Utrecht 30

5 Conclusies en aanbevelingen 35

- 5.1 Algemeen 35
- 5.2 Inventarisatie 35
- 5.3 Conclusies op basis van luchtmetingen 35
- 5.4 Advies voor het meten van vinylchloride 36
- 5.5 Aanbevelingen voor nader onderzoek risicobeoordeling vinylchloride 37
 - 5.5.1 Verbetering van de modellering en risicobeoordeling van uitdamping 37
 - 5.5.2 Referentieonderzoek bemonsterings- en analysemethoden vinylchloride 37
 - 5.5.3 Modelvalidatieonderzoek 38

6 Referenties 39

Bijlage 1. TOC componenten 42

Samenvatting

Probleemschets

Vinylchloride is een afbraakproduct van de vluchtige organochloorverbindingen (VOCL) 'per' en 'tri'. De stof wordt algemeen aangetroffen in grondwater dat als gevolg van incidenten met VOCL's verontreinigd is geraakt.

Op grond van het zeer vluchtige karakter van vinylchloride wordt met blootstellingsmodellen voorspeld, dat al bij relatief lage gehalten van de stof in grondwater het risico bestaat op uitdamping naar binnenlucht, met als gevolg onaanvaardbare risico's voor de mens.

In de praktijk blijkt echter bij metingen van vinylchloride in binnenlucht nabij ernstige verontreinigingen, dat de stof zelden daadwerkelijk kan worden aangetoond. Hiervoor zijn twee mogelijke verklaringen:

1. De toegepaste meetmethoden zijn niet geschikt om vinylchloride aan te tonen in (binnen)lucht.
2. Met de blootstellingsmodellen wordt de mate van uitdamping naar binnenlucht overschat, bijvoorbeeld omdat de afbraak van vinylchloride niet wordt meegenomen.

Metten van vinylchloride

Bemonstering van binnenlucht vindt doorgaans plaats met koolbuizen. In dit rapport wordt een inventarisatie gemaakt van alternatieve methoden voor de bemonstering en analyse van vinylchloride in bodem- en binnenlucht.

Bemonstering met canisters en analyse conform het EPA TO-15 protocol, komt als meest kansrijke methode naar voren uit deze analyse. De belangrijkste voordelen van de toepassing van canisters, ten opzichte van koolbuizen zijn:

- verliezen tijdens en na analyse als gevolg van desorptie zijn uitgesloten;
- ongevoelig voor vocht (met name in geval van bodemluchtmetingen);
- lage detectiegrens;
- relatief lange bemonsteringstijden zijn realiseerbaar.

In de praktijk

Op basis van de inventarisatie van geschikte methoden zijn op verontreinigde locaties in Gelderland en Utrecht metingen uitgevoerd met canisters in bodem- en binnenlucht. Ter vergelijking werden eveneens metingen uitgevoerd met Tedlar bags (bodemlucht) en koolbuizen (binnenlucht).

Ondanks hoge concentraties van vinylchloride in grondwater, werd de stof slechts in één geval aangetoond in een canister met bodemlucht.

Aanbevelingen

Metten van vinylchloride

Er kon niet worden aangetoond dat canisters meer geschikt zijn dan koolbuizen voor het meten van vinylchloride in de zin dat hogere concentraties werden gemeten. Doordat met canisters een lagere detectiegrens wordt gehaald én een langere bemonsteringstijd en dus tijdsintegratie te realiseren is, heeft bemonstering met canisters de voorkeur in situaties waarbij de aanwezigheid van vinylchloride kan worden verwacht. Aanbevolen wordt om te onderzoeken of een Nederlands protocol voor bemonstering en analyse op basis van de EPA TO-15 methode kan worden ontwikkeld.

Verbetering modellering van uitdamping vinylchloride

De resultaten van de metingen uit dit onderzoek bevestigen het beeld dat de berekening van de mate van uitdamping van vinylchloride naar binnenlucht met modellen overschat wordt. De meest waarschijnlijke verklaring voor deze overschatting, is de aerobe afbraak van vinylchloride in de onverzadigde zone. Geadviseerd wordt om op korte termijn op basis van bestaande kennis de afbraak van vinylchloride toe te voegen aan de uitdampingsberekening van het model VolaSoil.

1 Inleiding en doel

1.1 Aanleiding

In 2015 moeten alle 'humane spoedlocaties' (bodemverontreiniging die op grond van onaanvaarbare risico's voor de mens met spoed gesaneerd dienen te worden) in Nederland beheerd of gesaneerd zijn. Voor gevallen van ernstige verontreinigingen met vluchtige stoffen, wordt met een risicobeoordelingsmodel (bijvoorbeeld Sanscrit of VolaSoil) vastgesteld of uitdamping naar binnenlucht in gebouwen tot onaanvaardbare humane risico's kan leiden. De uitkomsten van het risicomodel kunnen aanleiding zijn om ter plekke van de verontreiniging luchtmetingen uit te voeren. De door het model berekende kwaliteit van de binnenlucht (en concentraties in bodem- en kruipruimtelucht) kan ook worden geverifieerd aan de hand van deze metingen.

Eén van de kritische stoffen bij de humane risicobeoordeling is vinylchloride (monochlooretheen). Verontreinigingen van vinylchloride in grondwater zijn over het algemeen het gevolg van afbraak van verontreinigingen met de oplosmiddelen tetrachlooretheen (per) en trichlooretheen (tri). Deze oplosmiddelen worden – onder andere – gebruikt voor de chemische reiniging van textiel en als ontvettingsmiddel bij metaalverwerkingsbedrijven. De stof is kritisch door zijn toxicologische eigenschappen bij inhalatoire blootstelling. Zowel bij de (Wet bodembeheer) bevoegde overheden als bij de medisch milieukundigen van de GGD's is er behoefte aan informatie over de wijze van uitvoeren van een betrouwbare meetmethode voor vinylchloride.

Het meten van vinylchloride heeft de volgende doelen:

- a) een locatiespecifieke risicobeoordeling van grond- en grondwaterverontreinigingen aan de hand van gemeten concentraties en vergelijking daarvan met de levenslange inhalatoire blootstellinggrenswaarde (Toelaatbare Concentratie Lucht (TCL) is $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$);
- b) de bepaling van de concentratiegradiënten van de luchtkwaliteit in gebouwen en bodemlucht om de herkomst en 'hotspots' van verontreiniging te bepalen;
- c) Monitoren van bodem- en binnenlucht tijdens een sanering van gechloreerde verbindingen (waarbij bij door afbraak vinylchloride concentraties verhoogd zouden kunnen worden).

Er is momenteel discussie over de betrouwbaarheid van de luchtmetingen van vinylchloride (Lijzen et al. 2012). Vaak worden binnenluchtmetingen uitgevoerd in de kruipruimte van woningen/gebouwen, de binnenlucht van woningen/gebouwen en de buitenlucht nabij het gebouw. Ook bestaat de behoefte om in de bodemlucht te meten, vooral wanneer er geen kruipruimtes in gebouwen aanwezig zijn, of in situaties waarbij geplande bebouwing nog niet is gerealiseerd. Ook bij stortplaatsen – waarin vinylchloride kan worden gevormd – kan er behoefte zijn om vinylchloride te meten.

Om tot een goede risicobeoordeling van de luchtkwaliteit als gevolg van uitdamping te komen moet vinylchloride betrouwbaar kunnen worden gemeten, zodat de meetwaarden met gezondheidskundige grenswaarden vergeleken kunnen worden. Dit briefrapport is een uitwerking van één van de aanbevelingen uit het briefrapport 607711011 uit 2012 (Lijzen et al.) over de risicobeoordeling van vinylchloride.

1.2 Achtergrondinformatie

De toepassing van vinylchloridemetingen is vooral bedoeld voor de vaststelling van het risico op verspreiding van vinylchloride uit de verontreinigde grond en het grondwater via bodemlucht en kruipruimtes naar het binnenmilieu van (particuliere) woningen en overige gebouwen. Meetstrategieën zijn er op gericht om de concentraties van vinylchloride in diverse ruimtes en luchtcompartimenten vast te stellen en een relatie te kunnen leggen met een bron in de bodem en het grondwater.

De gemeten bodem- en binnenluchtconcentraties worden beïnvloed door verschillende factoren, zoals:

- mate van verontreiniging;
- diepte en fluctuaties van de grondwaterstand;
- doorlatendheid van de bodem;
- bemonsteringstijd;
- bemonsteringssnelheid;
- vochtgehalte;
- aerobie en aanwezigheid specifieke bacteriën (in verband met afbraak).

Factoren specifiek voor binnenlucht

- verdeling van vinylchloride over de verschillende ruimtes in een gebouw (heterogeen);
- ventilatiekarakteristieken van het gebouw (bepaald door mechanische ventilatie en/of ventilatiegedrag bewoners);
- voorkeursroute (bijvoorbeeld via leidingenschacht of meterkast);
- monsternamahoogte;
- doorlatendheid van de vloer;
- temperatuur en seizoensinvloeden;
- chemische reacties;
- adsorptie aan materialen, gevolgd door emissie;
- andere bronnen van de onderzochte stoffen;
- immissie van buitenlucht naar binnenmilieu.

Factoren specifiek voor bodemlucht

- diepte van de bemonstering (van invloed op aanzuiging buitenlucht en herkomst bodemlucht);
- bodemtemperatuur (van invloed op sorptie evenwicht);
- aanwezigheid terreinverharding.

Vinylchloride ontstaat meestal via cis- en trans-1,2 dichlooretheen als afbraakproduct van per en tri. Er zijn in Nederland veel bodemlocaties verontreinigd met per en tri. Per kent een toepassing als chemisch reinigingsmiddel in wasserijen en is in deze branche in het verleden de meest voorkomende bron geweest van bodemverontreiniging. Tri is veel gebruikt als ontvettingsmiddel, onder meer bij metaalverwerkende bedrijven.

1.3 Meetmethoden en richtlijnen

De meest gangbare meetmethode voor de bepaling van concentraties vinylchloride in lucht is een actieve bemonstering over twee in serie geschakelde koolbuizen. De koolbuizen worden na de bemonstering in een laboratorium in bewerking genomen gevolgd door een GC-FID, GC-ECD of GC-MS analyse.

In de 'Richtlijn luchtmetingen' (Otte et al. 2007) en de GGD-Richtlijn bodemverontreiniging (Knol-de Vos et al. 1998) wordt een alternatieve meetmethode voor het meten van vinylchloride voorgesteld. De methode bestaat uit een luchtbemonstering met hulp van canisters (zie hoofdstuk 3). Na de bemonstering analyseert het laboratorium een deelvolume van de bemonsterde lucht met vinylchloride met bij voorkeur een GC-MS. De reden om deze meetmethode voor te stellen was de aanscherping van de chronische inhalatoire blootstellingsgrenswaarde (TCL) naar 3,6 µg/m³. De bepalingsgrens van de meetmethode met koolbuizen ligt doorgaans hoger dan deze grenswaarde, bovendien treden mogelijk verliezen op voordat vinylchloride kan worden geanalyseerd (door het extreem vluchtige karakter van vinylchloride of door het strippen van vinylchloride door andere gechlorideerde verbindingen). Met de meetmethode met canisters is het mogelijk om lagere concentraties aan te tonen en zijn er vermoedelijk geen verliezen. Bovendien biedt de methode de mogelijkheid een tijdsgeïntegreerde meting te doen van maximaal twee dagen.

1.4 Modelleren van (risico's van) uitdamping

De Nederlandse overheid stelt twee instrumenten ter beschikking om de uitdamping van vluchtige stoffen vanuit grondwater te beoordelen:

- Sanscrit: het instrument voor beoordeling van spoedeisendheid van ernstige bodemverontreinigingen;
- VolaSoil: model voor berekening van uitdamping van vluchtige verbindingen.

Naast deze instrumenten zijn er nog enkele specialistische modellen die niet in het kader van dit rapport worden besproken. Voor meer informatie wordt verwezen naar Picone (2012) en Provoost (2013).

Sanscrit berekent met behulp van het blootstellingsmodel CSOIL de uitdamping van vluchtige verbindingen naar binnenlucht voor één standaardscenario (gebouw met kruipruimte). Met het meer geavanceerde model VolaSoil is het mogelijk om een gedetailleerdere invulling te geven aan het blootstellingsscenario (bouwwijze, bodemtype).

De binnenluchtconcentraties die met Sanscrit en VolaSoil worden berekend, worden getoetst aan het TCL. In de praktijk blijkt dat de instrumenten de binnenluchtconcentraties van vinylchloride vaak overschatten (Lijzen, 2012, Provoost, 2013). Zelfs bij relatief hoge concentraties VC in grondwater wordt veelal geen VC gemeten in binnenlucht. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de concentraties van VOCL in grondwater waarbij Sanscrit voor het standaardblootstellingsscenario ('Wonen met tuin') een binnenluchtconcentratie ter hoogte van het TCL wordt berekend.

Stof	Concentratie in grondwater [µg/l]	TCL [µg/m ³]
Per	560	250
Tri	1500	200
Cis	80	30
Trans	80	60
VC	0,4	3,6

Tabel 1.1 Concentraties in grondwater waarbij met Sanscrit in het standaardscenario een binnenluchtconcentratie ter hoogte van de TCL wordt berekend

1.5 Doel

In de praktijk blijkt bij metingen van vinylchloride in binnenlucht nabij ernstige verontreinigingen, dat de stof zelden daadwerkelijk kan worden aangetoond. Hiervoor zijn twee mogelijke verklaringen:

1. De toegepaste meetmethoden zijn niet geschikt om vinylchloride aan te tonen in (binnen)lucht.
2. Met de blootstellingsmodellen wordt de mate van uitdamping naar binnenlucht overschat, bijvoorbeeld omdat de afbraak van vinylchloride niet wordt meegenomen.

Bemonstering van binnenlucht vindt doorgaans plaats met koolbuizen. In dit rapport wordt een inventarisatie gemaakt van alternatieve methoden voor de bemonstering en analyse van vinylchloride in bodem- en binnenlucht. Deze methoden zijn getest op locaties waarvan bekend is dat er hoge concentraties VOCL aanwezig zijn in het grondwater.

De doelen van dit project zijn:

- adviseren over de meest geschikte meetmethode(n) voor de bepaling van de concentratie vinylchloride in bodem-, kruipruimte- en binnenlucht;
- gegevens verzamelen ten behoeve van de validatie van de modelberekeningen van uitdamping door VolaSoil en Sanscrit.

1.6 Leeswijzer

De activiteiten die in dit rapport worden besproken hebben plaatsgevonden in twee fasen. In de eerste fase van het project is een inventarisatie van actuele (potentiële) meetmethoden voor vinylchloride uitgevoerd. Dit heeft geresulteerd in een selectie van de meest kansrijke methoden voor de bepaling van vinylchloride. De werkwijze en de resultaten van de inventarisatie worden besproken in hoofdstukken 2 en 3.

Op basis van de resultaten uit de inventarisatie zijn metingen uitgevoerd op twee locaties. De meetopzet en de resultaten worden besproken in hoofdstuk 4. Tot slot volgt in hoofdstuk 5 een discussie van de resultaten en worden aanbevelingen gedaan.

2 Werkwijze inventarisatie meetmethoden

Er is een inventarisatie gemaakt van de huidige stand der techniek op het gebied van luchtmetingen van vinylchloride. Dit is gebeurd door de beschikbare rapporten en documenten over het onderwerp te bestuderen (Otte et al. 2007) en door de bestaande kennisnetwerken in het vakgebied van de analytische chemie te betrekken. Hiervoor zijn diverse laboratoria geraadpleegd: KU Leuven, ProMonitoring, RPS, Inspectorate, TNO, Tauw, Alwest en Intertek.

Van de beschikbare meetmethoden zijn in tabellen 3.1 en 3.2 de volgende eigenschappen opgenomen: de bepalingsgrenzen, de bemonsteringstijd, de aandachtspunten voor de meting, de mogelijkheid voor het simultaan kunnen meten van VOCL (vluchtige organische gehalogeneerde verbindingen: mono- en dichlooretheen, tri en per) en de analyserende laboratoria. Ook is aangegeven of een methode gebruik maakt van actieve of passieve monsterneming. Een methode waarbij een kracht (met pomp of manueel) is uitgeoefend, wordt onder actieve bemonstering gerangschikt. Bij passieve bemonstering beperkt de handeling zich tot het open zetten van het medium. Dit is verder geen criterium dat van belang is voor de kwaliteit van de meting.

De geschiktheid van methoden voor het meten van vinylchloride in een situatie met bodemverontreiniging is getoetst aan de volgende eisen:

- de methode moet gevalideerd zijn;
- de methode moet breed toepasbaar zijn, dat wil zeggen openbaar beschreven en praktisch uitvoerbaar;
- de methode moet een bepalingsgrens (rapportagegrens) hebben van $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,5 \text{ ppbv}$, significant lager dan de TCL waarde van $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$);
- de methode moet tijdgemiddelde concentraties kunnen bepalen over een tijdsperiode van een aantal dagen of een week;
- de methode moet bij voorkeur ook de concentraties kunnen bepalen van de precursors per en tri, en cis- en trans-1,2 dichlooretheen (of 1,1-dichlooretheen).

Op basis van alle informatie is nagegaan of een vergelijkend onderzoek tussen de methoden wenselijk is. Hierbij is zoveel mogelijk uitgegaan van de daarvoor geldende normen, te weten ISO/IEC 17043 (02-2010) voor de organisatie en ISO 13528 (2005) voor de statistische evaluatie.

3 Resultaten inventarisatie

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de methoden voor de bepaling van vinylchloride in binnenlucht (inclusief kruipruimte) besproken (3.2). De monsternamen van bodemlucht vindt plaats met een probe of peilbuis, dit wordt toegelicht in paragraaf 3.3. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de methoden die in dit hoofdstuk worden besproken. Indien de methode is vastgelegd in een gevalideerd protocol, wordt dit aangegeven.

3.2 Meetmethoden binnenlucht

3.2.1 Actieve methoden

Uit raadpleging van de literatuur blijkt dat de kruipruimte- en binnenluchtbemonstering van vinylchloride vaak actief op een adsorbens (bijvoorbeeld actieve kool en Tenax) of passief in een canister wordt uitgevoerd. De analyse wordt met GC-FID of GC-MS uitgevoerd.

Koolbuis

Bij verschillende Amerikaanse meetmethoden (o.a. NIOSH 1007 OSHA 75, ASTM D 4766), is actieve kool een veel toegepaste adsorbens voor de bemonstering (met een pomp) van vinylchloride bij arbeidshygiënisch onderzoek. Bij deze meetmethoden is de monsternamen en analyse gevalideerd. In Nederland wordt de methode NIOSH 1007 het meest toegepast. Bij deze meetmethoden zijn de koolbuizen in serie geplaatst, om de doorslag te kunnen bepalen. Uit de literatuur is niet duidelijk of er met deze methode ook cis- en trans-1,2-dichlooretheen, trichlooretheen en tetrachlooretheen bepaald kunnen worden. Na desorptie met koolstofdisulfide (CS₂) van het geadsorbeerde vinylchloride, vindt analyse met GC-FID of GCMS plaats.

Kenmerken koolbuis:

- doorstroming: 50 - 100 ml/min
- bemonsteringstijd: 1 - 8 uur
- volume: 3 - 25 liter
- luchtvochtigheid: < 80 %
- Bepalingsgrens GC-FID: 25 - 200 µg/m³, GC-MS: 20 µg/m³

NB

- *Tijdens het bemonsteren is het aanbevolen om de buizen voor UV-licht af te scherm met bijvoorbeeld aluminiumfolie. Onder invloed van UV-licht breekt vinylchloride af¹.*
- *Door KU Leuven wordt de NIOSH 1007 methode toegepast².*

Thermodesorptiebuis

EPA TO17 is een analysemethode, waarbij lucht bemonsterd wordt op zogenaamde thermodesorptiebuis. Dit is een buis (glas of RVS) met adsorbens (Tenax, Carbosieve SIII en AirToxic). Deze analysemethode is voor 65 componenten gevalideerd, waaronder vinylchloride, cis- en trans-

¹ K. Poels, KU Leuven, pers. mededeling

² K. Poels, met een bepalinggrens van 200 µg/m³

1,2-dichlooretheen, trichlooretheen en tetrachlooretheen. De monsternamen van binnenlucht en de analyse zijn onder deze methode gevalideerd. Na thermische desorptie van de bemonsterde buizen, vindt de analyse met GC-MS plaats.

Kenmerken thermodesorptiebuis:

- doorstroming: 15 - 70 ml/min
- bemonsteringstijd: 1 uur
- volume: 1 - 4 liter
- luchtvochtigheid: < 80 %
- bepalingsgrens GC-MS: 1,3 µg/m³

Tedlarbag

Bij deze methode wordt een Vac-U-Tube gebruikt met Tedlarbags (Figuur 3.1) van 700 mL.

Luchtzakken (Pau et al. 1991) worden sinds geruime tijd toegepast om 'grab samples' te nemen. Dit zijn instantane bemonsteringen. Bemonstering kan actief worden uitgevoerd met pompen of met een handbediende Vac-U-Tube. Een bemonstering met een pomp levert tijdgemiddelde luchtconcentraties en die met de Vac-U-Tube levert momentane luchtconcentraties van vinylchloride.

Tedlarbagbemonsteringen worden veel toegepast bij milieu- en arbeidshygiënische onderzoeken. De analyse wordt uitgevoerd conform de (gevalideerde) EPA TO15 methode (canister bemonstering).

Kenmerken Tedlarbag:

- doorstroming: momentaan
- bemonsteringstijd: < 0,1 min
- volumina: 0,75 liter
- luchtvochtigheid: 10 - 95 %
- Bepalingsgrens MS: 1,3 µg/m³
- Stabiliteit: < 3 dagen



Figuur 3.1 Vac-U-Tube met Tedlarbag

3.2.2

Passieve methoden

Canister

Een canister is een roestvrijstalen (RVS) bol waarbij de binnenkant elektrolytisch gepolijst is en chemisch gedeactiveerd om het oppervlak chemisch inert te maken. Afhankelijk van de fabrikant wordt het of Silonite (Entech) of Silcosteel (Restek) genoemd.

Voordat de bemonstering plaatsvindt, wordt een canister met behulp van een pomp op onderdruk gebracht. De canister wordt met een kraan afgesloten om het vacuüm te handhaven tot voor gebruik. Bij het op locatie opendraaien van de kraan, vult de canister zich met omgevingslucht of aangezogen bodemlucht. Om de bemonstering gecontroleerd te laten verlopen wordt op de canister een met Silonite behandelde flowregelaar gemonteerd.

De analyse van een deel van de lucht vindt plaats volgens EPA TO15. Een deel van de bemonsterde lucht wordt in een zogenaamde thermodesorptie-eenheid geconcentreerd en geanalyseerd met een GC-MS. Deze analysemethode is gevalideerd voor 65 componenten, waaronder vinylchloride, cis-en trans-1,2 dichlooretheen, trichlooretheen en tetrachlooretheen. Dit wil zeggen dat in één monster, 65 componenten gekwantificeerd kunnen worden.

Kenmerken canister:

- doorstroming: 5 - 160 ml/min
- bemonsteringstijd: 0,1 min – 2 dagen
- volumina: 0,5 - 6 liter
- luchtvochtigheid: 10 - 100 %
- bepalingsgrens MS: 1,3 µg/m³

Helium Diffusion Sampling (HDS)

Bij deze techniek worden flesjes van 20 ml gevuld met helium. Door een buisje in het flesje vindt uitwisseling plaats met de omgevingslucht. Als gevolg hiervan wordt (een deel van) het helium vervangen door omgevingslucht. De bemonstering is maximaal 8 uur ([Entech](#), 2013).

Solid Phase Micro Extraction (SPME)

Deze techniek is gebaseerd op een dunne vezel (fiber) met een coating van materiaal waarop vluchtige stoffen kunnen absorberen. Voor monsternamen wordt een fiber enkele uren tot dagen in een ruimte geplaatst. De stoffen worden thermisch gedesorbeerd, waarna analyse op een GC-MS plaatsvindt. Vocht lijkt geen effect te hebben op de opnamesnelheid. (Martos, 1997, Sigma-Aldrich, 1998).

3M Badge

Een methode die veel wordt toegepast in arbeidshygiënisch onderzoek is luchtmonstering met behulp van zogenaamde badges. De badges bevatten een adsorbens ('actieve kool') die gedurende bepaalde tijd wordt blootgesteld aan omgevingslucht. Na bemonstering volgt een desorptiestap en analyse. In verband met de hoge vluchtigheid van vinylchloride is deze vorm van bemonstering niet geschikt en derhalve verder niet in beschouwing genomen in deze inventarisatie.

Tabel 3.1. Methoden voor de bepaling van vluchtige organische componenten in (bodem)lucht

Methoden binnenlucht / kruipruimte lucht						
Methode	Bepalingsgrens [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bemonsteringstijd	Aandachtspunten bemonstering	Simultane bem./locatie	Tri, per en cis	Laboratorium
Actieve bemonstering						
Koolbuis						
NIOSH 1007; 100/50, FID	200 +/- 18%	1,7 uur (50 ml/min, 5 l)	Koel bewaren, RH<80% tijdens en na UV-vrij geluidshinder door pomp meer dan 1 analyse	ja	nee	KUL
NIOSH 1007; 100/50, GCMS	~20 %	1,7 uur (50 ml/min, 5 l)	Koel bewaren, RH<80% tijdens en na UV-vrij geluidshinder door pomp meer dan 1 analyse	ja	nee	RPS, Tauw/Alwest RPS
OSHA75, 130/65, FID	50 +/- 6%	1 uur (50 ml/min, 3 l)	Koel bewaren, RH<80% tijdens en na UV-vrij geluidshinder door pomp meer dan 1 analyse	ja	nee	onbekend
ASTM D 4766, 800/200, FID	~25%	4 uur (100 ml/min, 24 l) 8 uur (50 ml/min, 24 l)	Koel bewaren, RH<80% tijdens en na UV-vrij geluidshinder door pomp meer dan 1 analyse	ja	nee	onbekend

Methoden binnenlucht / kruipruimte lucht						
Methode	Bepalingsgrens [µg/m³]	Bemonsteringstijd	Aandachtspunten bemonstering	Simultane bem./locatie	Tri, per en cis	Laboratorium
Thermodesorptie buis						
EPA TO17; GCMS	~1 %	4 uur (17 ml/min, 4 l)	Koel bewaren, RH<80% tijdens en na UV-vrij geluidshinder door pomp 1 analyse	Ja	ja	TNO, Intertek, RPS, RIVM
Tedlarbag	1,3 +/- 10 %	Instantaan	Momentopname, wel meerdere nemen Stabiliteit: <3 dagen	ja	ja	onbekend
Passieve bemonstering						
Canister						
EPA TO15; GCMS	1,3 +/- 10 %	0,5 - 6 l, 0,1 min - 2 dgn. 5 - 160 ml/min	vacuüm controleren vocht: geen invloed meer dan 1 analyse	ja	ja	TNO, RPS, Intertek Inspectorate, RIVM
Helium Diffusion Sampling						
<i>(in ontwikkeling)</i>	~1 %	8 uur	afgesloten bewaren	ja	ja	TNO
Solid Phase Micro Extraction (SPME)						
<i>(in ontwikkeling)</i>	~0,1 %	30 min - 16 uur	afgesloten bewaren vocht geen invloed 1 analyse	ja	ja	onbekend

3.3 Bemonstering en analyse van bodemlucht

Om bodemluchtmonsters te kunnen nemen, dient een sonde in de bodem te worden geplaatst. Het plaatsen van de sonde kan op twee manieren gebeuren:

- peilbuismethode; na boring in de bodem is er een buis geplaatst met een bodemluchtfilter of een capillair met een trechter. Bodemlucht wordt bemonsterd via een polyethyleen (PE) of teflon slang³;
- de verlorenpuntmethode (Knol-de Vos et al. 1998, Tauw BV); een metalen buis met aan het uiteinde een afgesloten conus wordt in de grond geslagen. Wanneer de gewenste diepte is bereikt, wordt de buis iets omhooggetrokken en de conus geopend met een staaf. Hierdoor ontstaat een holte in de bodem en kan de bodemlucht worden bemonsterd via een PE of teflon slang¹. De punt blijft achter in de bodem.

In beide methoden wordt, voorafgaand aan de bemonstering, de aangezogen lucht door een CO₂-detector geleid tot een constant gehalte CO₂ wordt gemeten. Op deze manier wordt vastgesteld of er lekkage van lucht optreedt langs de sonde en om na te gaan of het 'dood volume' lucht uit de aanzuigleidingen is verwijderd. Ook kan het dood volume berekend worden en weggepompt worden.

De verlorenpuntmethode is geschikt voor eenmalige bemonstering en het bepalen van 'hot-spots' van een gebied. Met de peilbuismethode zijn herhaalde bemonsteringen over langere periodes uit te voeren.

De bepaling van VOCL in bodemlucht is voor een deel analoog aan die van binnenlucht:

- actief: koolbuis, thermodesorptiebuis (zie paragraaf 3.2.1);
- passief: canister en Tedlar bag (zie paragraaf 3.2.2 aangevuld met de Emflux en Gore Sorber methode).

Voor metingen in bodemlucht zijn metingen op basis van actief kool echter minder geschikt in verband met de hoge luchtvochtigheid (zie Tabel 3.1).

De Emflux en Gore Sorber methode is een door EPA erkende, passieve bodemlucht bemonsteringsmethoden voor VOC (EPA, 1998a, EPA, 1998b, Valle, 2012). Hierbij wordt een sorbensbuisje geïnstalleerd in een peilbuis. Deze techniek is gebaseerd op diffusie van VOC in de bodemlucht. Op deze VOC lijst ontbreekt echter vinylchloride.

3.4 Aanbevelingen uit inventarisatie

3.4.1 Meetmethoden voor binnen- en kruipruimtelucht

Om de concentratie van vinylchloride (en van *cis-en trans*-1,2-dichlooretheen, trichlooretheen en tetrachlooretheen) in binnen- en kruipruimtelucht te bepalen, heeft de EPA TO15 methode (canister) veel voordelen ten opzichte van andere methoden (zie Tabel 3.1). Daarom is deze methode aan te bevelen. Het gaat om de volgende voordelen:

- mogelijkheid voor tijdsgeïntegreerde metingen tot 2 dagen;
- bepalingsgrens van circa 1,3 µg/m³;
- ongevoelig voor vocht;
- eenvoudig uit te voeren;
- minder kans op afbraak/verlies van vinylchloride tijdens en na bemonstering: canister schermt de analyten af van UV-licht;
- geen geluidsoverlast tijdens binnenlucht bemonstering.

³ geen siliconenenslang, vanwege adsorptie van VOC's aan het materiaal

Deze analysemethode is door een aantal laboratoria (TNO, Intertek en RIVM) in Nederland geïmplementeerd met voldoende analysecapaciteit. De analysemethode is door de EPA gevalideerd voor 65 componenten met een bepalingsgrens van 0,5 ppbv (1,3 µg/m³ voor vinylchloride). De analysekosten zijn vergelijkbaar met de analysekosten voor koolbuis analyse.

De koolbuismethode is een optie voor binnenluchtmetingen. Aanbevolen wordt een maximale bemonsteringsduur van 8 uur met een bepalingsgrens van minimaal 20 µg/m³ voor vinylchloride. Vinylchloride wordt over het algemeen nog korter bemonsterd (2-3 uur).

3.4.2 *Meetmethoden voor bodemlucht*

Net als bij binnen- en kruipruimtelucht, heeft de EPA TO15 methode veel voordelen bij het meten van bodemlucht. Via een bodemluchtsonde (verlorenpuntmethode of peilbuis) wordt lucht in een canister bemonsterd.

Belangrijke voordelen zijn:

- ongevoelig voor vocht;
- de methode houdt een flux van bodemlucht in stand (in tegenstelling tot 'echte' passieve methoden);
- eenvoudig uit te voeren (robuust);
- kleine kans op verlies van vinylchloride tijdens monsternamen en analyse (liefst op basis van validatie)

Een alternatief is een bemonstering in een Tedlarbag, mits deze na bemonstering in het donker bewaard wordt en de analyse binnen 3 dagen wordt uitgevoerd.

3.4.3 *Aanvullende validatie voor bemonstering en analysemethode*

Bij de inventarisatie is gebleken dat er gevalideerde methoden zijn om vluchtige organische componenten te bemonsteren en te analyseren, maar dat vinylchloride vaak ontbreekt of dat de bepalingsgrens te hoog is. In andere gevallen is de analyse gevalideerd, maar de monsternamen niet.

Verschillende laboratoria in Nederland hebben de TO15 analyse methode geïmplementeerd, maar niet de monsternamen. Daarom is het raadzaam om een vergelijkend onderzoek te starten met de verschillende laboratoria, voor de bemonstering en analyse van vinylchloride (en van cis- en trans-1,2 dichlooretheen, trichlooretheen en tetrachlooretheen) in lucht. Met de daarvoor geldende normen, te weten ISO/IEC 17043 (02-2010) voor de organisatie en ISO 13528 (2005) voor de statistische evaluatie.

4 Metingen van vinylchloride in bodem-, kruipruimte- en binnenlucht

4.1 Van inventarisatie naar toepassing van methoden

Uit de inventarisatie (Hoofdstuk 3) komt de TO15 analysemethode, met bemonstering met canisters, naar voren als meest kansrijk om vinylchloride aan te tonen, zowel in bodemlucht als in kruipruimte- en binnenlucht. De methode waarbij Tedlarbags in plaats van canisters worden toegepast komt uit de inventarisatie eveneens als kansrijke methode naar voren. Op basis van deze resultaten van de inventarisatie is besloten om in december 2012 en januari 2013 metingen met canisters en Tedlarbags uit te voeren op locaties in de provincies Utrecht en Gelderland. Op de locaties (zie paragraaf 4.3) is bij eerder onderzoek gebleken dat er relatief grootschalige verontreinigingen met VOCL – waaronder vinylchloride – in grondwater aanwezig zijn.

De metingen in Gelderland zijn mogelijk gemaakt door en uitgevoerd in opdracht van de Provincie Gelderland. De metingen in Utrecht zijn uitgevoerd in het kader van het Europese 'Citychlor' project, in opdracht van de gemeente Utrecht.

4.2 Doel en leeswijzer Hoofdstuk 4

Met de luchtmetingen worden de volgende doelen beoogd:

1. Toetsen óf en in welke mate vinylchloride wordt aangetoond in bodem-, kruipruimte en binnenlucht met de meest kansrijke methoden uit de inventarisatie op locaties waar relatief hoge concentraties VOCL, inclusief vinylchloride, in grondwater zijn aangetoond.
2. Vergelijken van de prestaties van onder punt 1 bedoelde methoden onderling en met de resultaten van traditionele metingen met koolbuizen in binnenlucht en kruipruimtelucht.
3. Ervaring opdoen met de praktische uitvoerbaarheid van de drie toegepaste methoden.
4. Verificatie van modelberekeningen van uitdamping van vluchtige verbindingen.

Dit Hoofdstuk bespreekt de locaties (paragraaf 4.3), de gebruikte materialen en methoden (paragraaf 4.4), de bemonstering (paragraaf 4.5), de analyse (paragraaf 4.6) en de meetresultaten (paragraaf 4.7).

De bovenstaande doelen in relatie tot de resultaten worden in Hoofdstuk 5 besproken.

4.3 Locaties en werkwijze

4.3.1 Gelderland: Barneveld en Elst

Beide locaties betreffen voormalige chemische wasserijen in de bebouwde kom, waar ten tijde van bedrijfsvoering tetrachlooretheen in de grond en het grondwater is terechtgekomen (Tauw, 2011, De Klinker, 2010). Als gevolg hiervan zijn relatief grootschalige verontreinigingen in grondwater ontstaan. In het kader van het bodemonderzoek zijn op beide locaties al eerder metingen in kruipruimte- en binnenlucht uitgevoerd (Promonitoring, 2008, 2009a, 2009b, 2012). Hierbij werden dichlooretheen, tri en per gemeten. De aanwezigheid van vinylchloride is op de locaties uitsluitend in grondwater aangetoond.

Tabel 4.1 geeft de belangrijkste kenmerken van beide locaties weer.

Tabel 4.1. Kenmerken meetlocaties Gelderland.

Kenmerk	Barneveld (nr 22)	Elst (nr 17 en 21)
Gebruik tijdens ontstaan van verontreiniging	Wasserij	Wasserij
Huidig gebruik panden	Restaurant	Leegstaand pand (voormalige wasserij), kelder en winkel
Omvang grondwaterverontreiniging	Ca 30.000 m ³ > IW VOCL	Ca 135.000 m ³ > IW VOCL
Uitgevoerd bodemonderzoek	1993-2006: verkennende en aanvullende onderzoeken 2008 & 2012: nader bodemonderzoek 2009 & 2010: binnenluchtonderzoek	1993-2011: verkennende en nader bodemonderzoek 2008 & 2012: binnenluchtonderzoek
Bodemsamenstelling	Tot 15m-mv matig grof tot fijn zand	Ca 0,5m opgebracht zand daaronder klei tot 4 m -mv
Gemiddelde diepte grondwaterstand	Ca 1m-mv	Ca 2m-mv
Gemeten piekconcentratie vinylchloride in grondwater	25 µg/l	370 en 39.000 µg/l
Berekende piekconcentratie VC in bodemlucht (Volasoil)	461.000 ug/m ³	6.380 ug/m ³
Berekende piekconcentratie VC in kruipruimtelucht (Volasoil)	14.600 ug/m ³	Nvt
Berekende piekconcentratie VC in binnenlucht (Volasoil)	1.190 ug/m ³	2.910 ug/m ³

Meetstrategie

Op 8 en 10 januari 2013 zijn de metingen op de locaties in Elst en Barneveld uitgevoerd. In Tabel 4.2 zijn de geplande metingen weergegeven. Eventuele afwijkingen van het oorspronkelijke meetplan worden in de paragraaf over de bemonstering besproken.

Tabel 4.2. Overzicht geplande bemonsteringen Elst en Barneveld

Locatie	Bemonstering	Duur
Elst		
Kelder	Canister	48 uur
	Koolbuis	2 uur
Begane grond (2x)	Canister	48 uur
	Koolbuis	2 uur
Bodemlucht (2x)	Canister	4 uur
	Tedlarbag	Instantaan
Barneveld		
Kruipruimte	Canister	48 uur
	Koolbuis	2 uur
Begane grond	Canister	48 uur
	Koolbuis	2 uur
Bodemlucht (2x)	Canister	4 uur
	Tedlarbag	Instantaan

Per locatie werden twee bodemluchtmetingen uitgevoerd, waarvoor steeds nieuwe sondes werden aangebracht. Er is één meetronde gedaan omdat het doel van de meting was om methoden te vergelijken en niet een representatieve luchtconcentratie van de locatie te verkrijgen.

4.3.2 Utrecht

In Utrecht zijn in het kader van het Europese 'Citychlor' project metingen in bodem- en binnenlucht en in grondwater uitgevoerd op locaties gelegen nabij de Amsterdamsestraatweg en de Nachtegaalstraat. Bij eerder onderzoek (Citychlor, 2013a, in prep.) is vastgesteld dat het grondwater ter hoogte van deze locaties sterk verontreinigd is met VOCL als gevolg van de aanwezigheid van een chemische wasserij aan de Amsterdamsestraatweg. In twee panden zijn binnenluchtmetingen verricht (Mulderstraat en Van Lidth de Jeudestraat; Promonitoring, 2013). In Tabel 4.3 zijn de belangrijkste kenmerken van de verontreinigingslocatie samengevat.

Tabel 4.3. Kenmerken verontreinigingslocatie Utrecht

Kenmerk	Utrecht Nachtegaalstraat
Oorzaak verontreiniging	Wasserij, achtereenvolgend actief op twee nabijgelegen locaties (2 bronnen)
Omvang	Ca. 75.000 m ³ >IW VOCL
Uitgevoerd bodemonderzoek	Bodem & grondwateronderzoeken. Binnenluchtmetingen zie Citychlor (2013a, in prep)
Bodemsamenstelling	Zandige klei
Gemiddelde diepte grondwaterstand	1 – 1,5 m-mw
Gemeten piekconcentratie vinylchloride in grondwater	370 µg/l (zie Tabel 4.8)
Berekende piekconcentratie VC in bodemlucht (Volasoil ⁴)	6830 µg/l
Berekende piekconcentratie VC in kruipruimtelucht (Volasoil ⁴)	4312 µg/l
Berekende piekconcentratie VC in binnenlucht (Volasoil ⁴)	35,1 µg/l

Meetstrategie

Tabel 4.4 geeft een overzicht van de geplande bemonsteringen in het kader van het 'Citychlor'-project in Utrecht. De grondwatermonsters zijn uitgevoerd in het kader van een stabiele koolstofisotoopanalyse.

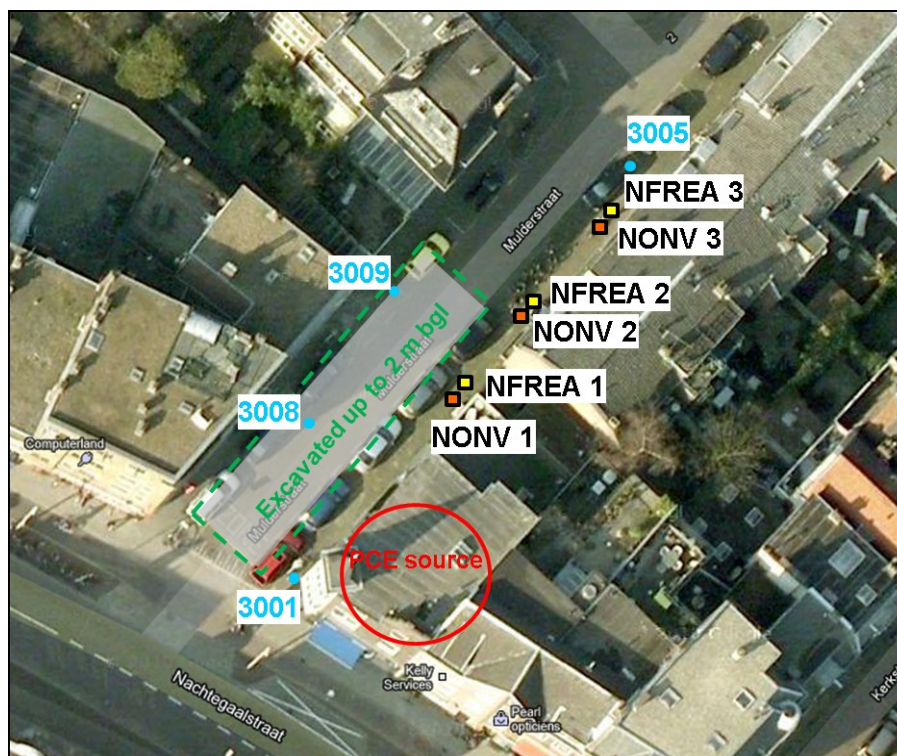
⁴ Ter indicatie zijn deze waarden berekend uitgaande van het standaardscenario in Volasoil voor een huis met een kruipruimte bij een grondwaterstand van 1 m-mv

Tabel 4.4. Overzicht geplande bemonsteringen Utrecht

Locatie	Bemonstering	Duur
Bodemlucht (3 peilbuizen, 6 filters)		
Mulderstraat	Canister (11x) Tedlarbag (6x)	4 uur 30 min
Binnenlucht (2 locaties)		
Mulderstraat 3 (woonkamer & watermeetput)	Canister Koolbuis	7 dagen (VOCL), 3 uur (vinylchloride) ¹
Van Lidth de Jeudestraat 19 (kelder)	Canister Koolbuis	7 dagen (VOCL), 3 uur (vinylchloride) ¹
Grondwater (per locatie: 3 peilbuizen, 3 filters)		
Mulderstraat	Tbv C ¹³ -analyse	Instantaan
Amsterdamsestraatweg	Tbv C ¹³ -analyse	Instantaan

¹ Voor de analyse van VC is kortere tijd bemonsterd

De kaart in Figuur 4.1 geeft de locaties weer van de peilbuizen voor de bemonstering van grondwater en bodemlucht aan de Mulderstraat (nabij Nachtegaalstraat) in Utrecht.



Figuur 4.1. Peilbuizen bodemlucht (NONV) en grondwater (NFREA) Mulderstraat (Citychlor 2013a, in prep)

Naast bemonsteringen nabij de Nachtegaalstraat, voorzag het Citychlor-project in een tweede serie, vergelijkbare, monsternames nabij de Amsterdamsestraatweg. Deze bemonsteringen zijn voorsnog geannuleerd als gevolg van hoge grondwaterstanden.

4.4 Materialen en methoden

Tabel 4.5 geeft een overzicht van de bemonsteringsmiddelen en analysemiddelen die zijn ingezet voor de luchtmetingen in Gelderland en Utrecht. De analysemiddelen hebben uitsluitend betrekking op de analyse van canisters en Tedlarbags door het RIVM. Voor details over de analysemiddelen die werden toegepast voor de bepaling van de gehalten in de koolbuizen verwijzen we naar Promonitoring (2013).

Tabel 4.5. Materialen metingen Gelderland

Bemonsteringsmiddelen	Omschrijving & type
<i>Koolbuis</i>	2 buizen in serie, cat.nr.: SKC 226-01 Pomp; SKC, cat.nr.: 224-52TX
<i>Canister</i>	6 liter; Entech, cat.nr.: 29-10622 Flowregelaar canister; Entech, cat.nr.: 39-CS1200ES4
<i>Tedlarbag</i>	700 mL; SKC; cat.nr.: 232-945A Vac-U-Tube; SKC; cat.nr.: 231-945
Analysemiddelen	Omschrijving & type
<i>Standaard</i>	EPA TO-15, 100 ppbv; Scott, art.nr.: 34437-Pi
<i>Thermo Desorbtië Unit</i>	Markes Unity1 Trap: AirToxic TO15; Markes, cat. nr.: U-T15ATA-2S
<i>Gaschromatograaf</i>	TraceGC, Thermo Instruments Kolom: RTX-XLB, Restek, 30m * 0,25mm; filmdikte: 1,0 µm
<i>Massaspectrometer</i>	DSQ massaspectrometer, Thermo Instruments TraceGC Ultra gaschromatograaf, Thermo Instruments

4.5 Bemonstering

4.5.1 Gelderland

Bemonstering bodemlucht

In dit onderzoek is met behulp van de verlorenpuntmethode (zie paragraaf 3.2) bodemlucht bemonsterd. Een metalen buis met afdichtende punt werd in de grond geslagen. Vervolgens werd de buis iets omhoog getrokken en de afdichtende punt met een staaf verwijderd. Hierdoor ontstond een holte in de bodem en bodemlucht werd bemonsterd via een PE of Teflon slang. De punt bleef achter in de bodem.

Voorafgaand aan de bemonstering werd de aangezogen lucht door een CO₂ detector geleid tot een constant CO₂ gehalte werd gemeten. Op deze manier wordt vastgesteld of er lekkage van lucht optreedt langs de sonde en wordt gecontroleerd of het dood volume lucht uit de aanzuigleidingen is verwijderd.

De slang werd gekoppeld aan een canister. De doorstroomsnelheid van de canisters werd ingesteld op 25 ml/minuut, waarmee een 4-uurs bemonstering wordt gerealiseerd. Na afronding van deze bemonstering werd een Tedlarbag (in Vac-U-Tube) aangesloten op dezelfde leiding en gevuld.

Uitvoering Elst

De grondwaterstand in Elst werd gemeten op 3,8 m-mv (gepeild in een buis van TAUW). In de voorgaande onderzoeken werd een hogere grondwaterstand gemeten (1-2 m -mv). De bodem bestond, afgezien van de bovenste 50 cm uit (donkergrijze) klei. De bodemlucht is bemonsterd op diepten van 90 en 170 cm. Bemonstering vond plaats buiten, naast het pand (zie Figuur 4.2).

Als gevolg van de slechte doorlatendheid van de kleigrond in Elst bleek het niet mogelijk te zijn om de eerste canister te vullen met bodemlucht. De tweede monsternamen met canister leverde wel een bruikbare hoeveelheid lucht op, maar uit de onderdruk in de canister na afloop van de meting bleek dat de canister zich niet volledig had gevuld.

In Elst is het gelukt om één Tedlarbag te vullen met bodemlucht na afloop van de meting met canister (op dezelfde leiding).

Uitvoering Barneveld

Bemonstering van bodemlucht is uitgevoerd ter plekke van het kruipruimteluik in de keuken van het restaurant (zie Figuur 4.4). In Barneveld verliep het vullen van de Tedlarbag met bodemlucht eveneens problematisch als gevolg van de slecht doorlatende bodem. Hierop is besloten om de resterende Tedlarbag te vullen met kruipruimtelucht.

Bemonstering buiten-, kruipruimte- en binnenlucht

Er zijn luchtmonsters genomen in de kelder (Elst), kruipruimte (Barneveld) en op de begane grond. De bemonsteringsmiddelen (koolbuizen en canisters) zijn op de grond geplaatst. De bemonsteringshoogte was circa 30 cm (koolbuis) en circa 50 cm (canister) ten opzichte van de vloer. In Barneveld zijn in het restaurant de koolbuis en canister op een hoogte van circa 150 cm geplaatst. Dit is op ademhoogte van de gasten.

De doorstroomsnelheid van de canisters werd ingesteld op 2 ml/minuut., waarmee een 48-uurs bemonstering werd gerealiseerd.

Voor de bemonstering van VOCL met 2 koolbuizen in serie is de doorstroomsnelheid ingesteld op 40 ml/min, met een totale bemonsteringstijd van 2 uur.

In aanvulling op het meetplan is in Elst een aanvullende bemonstering van buitenlucht uitgevoerd met Tedlarbag. In Barneveld is de tweede bodemlucht bemonstering met Tedlarbag vervangen door een bemonstering van kruipruimtelucht (zie ook hierboven).

De Figuren 4.2 tot en met 4.5 tonen foto's van enkele van de monsternamelocaties in Gelderland.



Figuur 4.2 Elst. Materialen verlorenpunt methode (VPM)



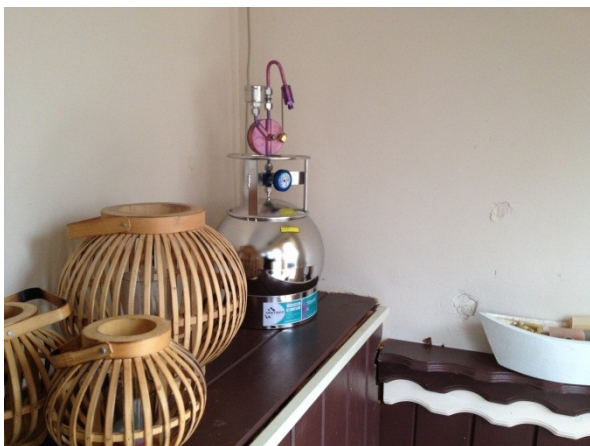
*Bemonstering bodemlucht met canister
Figuur 4.3 Elst*



Vorbereiding VPM-bemonstering



Figuur 4.4 Barneveld. Bemonstering bodemlucht met canister in kruipruimte.



Figuur 4.5 Barneveld. Bemonstering binnenlucht met canister in restaurant.

4.5.2 Utrecht

De bemonsteringen van bodem- en binnenlucht zijn uitgevoerd door, of in opdracht van, adviesbureau MWH Noord Europa. In dit rapport wordt een beknopte beschrijving van de bemonstering gegeven. Voor een volledige beschrijving wordt verwezen naar Citychlor (2013a en 2013b, in prep.).

Bodemlucht

Ten behoeve van de bodemluchtbemonstering werden op drie locaties nabij de Nachtegaalstraat peilbuizen aangebracht. Binnen de boringen werden op zes dieptes bemonsteringen uitgevoerd. De zes filters binnen één boring werden gescheiden door middel van zogenaamde 'packers'. Het freatisch grondwater bevond zich op de locaties op een diepte van circa 1,5 m-mv.

De bodemlucht in de boringen werd bemonsterd met canisters en Tedlarbags. De canisters (met een vooringestelde doorstroomsnelheid van 25 ml/min) en de Tedlarbags zijn door het RIVM geleverd. De Tedlarbags werden gevuld met behulp van een pomp met een doorstroomsnelheid van 20 ml/min. De bemonstering vond plaats op 5 en 12 december 2012. Voorafgaand aan de bemonstering van elk filter werd een volume van 200 ml voorgepompt, waarna met een CO₂-meter en een PID-meter (O₂) werd gecontroleerd of er nog buitenlucht in de peilbuis aanwezig was.

Op 7 filters werd bemonsterd met een Tedlarbag. De overige 8 filters zijn bemonsterd met een canister. In de resultaten (zie paragraaf 4.7.2) wordt aangegeven of de bemonstering plaatsvond met een canister of Tedlarbag.

Bemonstering kruipruimte- en binnenlucht

Adviesbureau MWH Noord Europa heeft op 12 december binnenluchtmetingen uitgevoerd van VOCL met canisters en Tedlarbags in een woning aan de Mulderstraat 3 (woonkamer en watermeetput) en een woning aan de Van Lidth de Jeudestraat 19 (kelder) in Utrecht (Citychlor, 2013b, in prep.).

Ten behoeve van methodevalidatie voerde Pro Monitoring B.V., in de periode van 14 december tot 21 december 2012, bemonsteringen uit van binnenlucht in bovengenoemde woningen met koolbuizen. Per ruimte werd tweemaal bemonsterd. Eén keer kortdurend (3 uur) voor de analyse van vinylchloride en één keer lang (7 x 24 uur) voor de analyse van per, tri en dichlooretheen.

De VOCL-meting in de woonkamer van Mulderstraat 3 is, wegens een stroomstoring in het pand in de eerste meetperiode, herhaald van 21 december - 28 december 2012 (Promonitoring, 2013).

4.6 Analyse

Voor de bepaling van de luchtconcentraties in de canisters en Tedlarbags in deze paragraaf een overzicht van de belangrijkste kenmerken van de analysemethode die is toegepast door het RIVM voor de bepaling van de luchtconcentraties in de canisters en Tedlarbags. Voor een beschrijving van de analyse van de koolbuizen wordt verwezen naar Promonitoring (2013).

Standaard

Voor de calibratie is een EPA TO-15 standaard gebruikt. Om een bepalingsgrens van 1 µg/m³ te halen is 150 ml geanalyseerd.

Blanco

Buitenlucht ter plekke van het RIVM in Bilthoven is bemonsterd in een Tedlarbag en canister en daarna geanalyseerd.

Thermo Desorbtië Unit GCMS (TDU-GCMS)

150 mL lucht werd op een thermodesorbtië unit geconcentreerd op een adsorbtiëfase (trap). Vervolgens werd de trap verhit, waarbij de vrijgekomen VOCl via een transferline werd getransporteerd naar de analysekolom in de gaschromatograaf. Op deze kolom worden de verschillende componenten gescheiden die met een massaspectrometer zijn gedetecteerd.

Instellingen Thermo Desorbtië Unit:

- Analyse volume: 150 mL
- Trap temperatuur: - 10 °C
- Trap desorbtië temperatuur: 300 °C
- Markes Transferline temperatuur: 200 °C

Eigenschappen en instellingen gaschromatograaf:

- Kolom: RTX-XLB, 30m * 0,25mm; filmdikte: 1,0 µm
- Kolom flow: 1 ml/min, constante flow
- Kolom temp. programma: 40 °C (2 min.); met 10 °C/min. naar 250 °C (1 min)

Massaspectrometer

- Scan mode: EI, full scan
- Transferline temperatuur.: 300 °C
- Bron temperatuur: 250 °C
- Scan range: 29 – 300 amu
- Scan snelheid: 5 scan/s

4.7 Resultaten metingen

4.7.1 Resultaten Gelderland

Tabel 4.6 geeft de resultaten van de luchtmetingen van VOCl in Elst en Barneveld weer. In alle monsters van bodem, kruipruimte- en binnenlucht werd per aangetoond. In een deel van de monsters zijn ook tri en dichlooretheen aangetoond. Vinylchloride werd in geen van de monsters aangetoond.

4.7.2 Resultaten Utrecht

In Tabel 4.7 worden de resultaten van de luchtmetingen in Utrecht weergegeven. In bodemlucht werden de stoffen per en tri aangetoond. In één monster bodemlucht dat werd onttrokken met behulp van een canister, werd vinylchloride aangetoond. In binnenlucht werd tweemaal een lage concentratie per aangetoond.

Tabel 4.8 geeft de resultaten van de metingen in grondwater aan de Nachtegaalstraat weer. In alle grondwatermonsters werd vinylchloride aangetoond.

Tabel 4.6. Resultaten bodem- en binnenluchtmetingen Gelderland

Code	Type	Details	Diepte/hogte (cm) ⁺⁺	Component (concentraties in µg/m ³)					
				Per	Tri	cis-1,2-dce	trans-1,2-dce	1,1-dce	VC
Elst Dorpsstraat 17-21									
Bodemlucht									
CEBL1	Canister	(1)	140						
CEBL2	Canister		90	6	7	1	< 1	< 1	< 1
TEBL1	Tedlarbag	(1)	40						
TEBL2	Tedlarbag		90	600	45	1	< 1	< 1	< 1
TEBL, 100113 (2)	Tedlarbag	Buitenlucht	30	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Binnenlucht									
CEW1 080113	Canister	Vml Wasserij	50	40	1	1	< 1	< 1	< 1
080113 KEW A+B	Koolbuis ³	Vml Wasserij	30	119	<119	<119	<119		<12
CEWW	Canister	Winkel	50	95	13	8	1	< 1	< 1
CEK080113	Canister	Kelder	50	533	76	48	4	< 1	< 1
Barneveld Raadhuisplein 22									
Bodemlucht									
CKBL1	Canister	Kruipruimte	60	391	9	11	< 1	< 1	< 1
CKBL2	Canister	kruipruimte	50	413	8	8	< 1	< 1	< 1
TBBL1	Tedlar bag	(1)	60						
TBBL2	Tedlar bag	(1)	50						
Binnenlucht									
CBB	Canister	Restaurant	150	239	8	4	< 1	< 1	< 1
100113 KBB A+B	Koolbuis ³	Restaurant	150	187	<176	<176	<176		<18
CBK080113	Canister	Kruipruimte	50	546	10	10	<1	<1	<1
TBK1 (2)	Tedlarbag	Kruipruimte	50	400	7	7	<1	<1	<1
100113 KBK A+B	Koolbuis ³	Kruipruimte	50	839	<173	<173	<173		<17

1 Bemonstering niet mogelijk i.v.m. slecht doorlatende bodem

2 Additioneel bemonsterd, in plaats van bodemlucht

3 De relatief hoge detectiegrenzen ten opzichte van de metingen met koolbuis uit Tabel 4.7, zijn het gevolg van de kortere bemonsteringsduur

++ Hoogte ten opzichte van (kruipruimte)vloer. Diepte ten opzichte van maaiveld (Elst) en kruipruimtevloer (Barneveld).

Tabel 4.7. Resultaten bodem- en binnenluchtmetingen Utrecht

Code	Type	Details	Diepte/hoogte (cm) ⁺⁺	Component - concentraties in µg/m ³					VC
				per	tri	cis-1,2-dce	trans-1,2-dce	1,1-dce	
Bodemlucht			Diepte						
NONV1.1	Canister		50 - 65	644	95	1	<1	<1	<1
NONV1.2	Canister		65 - 80	1250	26	<1	<1	<1	<1
NONV1.3	Canister		80 - 95	2050	57	<1	<1	<1	<1
NONV1.3	Tedlarbag		80 - 95	210	21	1	<1	<1	<1
NONV1.4	Canister		95-110	1302	42	<1	<1	<1	<1
NONV1.4	Tedlarbag		95-110	486	25	1	<1	<1	<1
NONV1.5	Canister		110 - 125	3195	91	<1	<1	<1	<1
NONV1.6	Canister		125-140	883	60	<1	<1	<1	<1
NONV2.1	Canister		50 - 65	2053	153	72	<1	<1	<1
NONV2.1	Tedlarbag		50 - 65	720	77	54	2	<1	<1
NONV2.2	Canister		65 - 80	1739	63	2	<1	<1	<1
NONV2.3	Canister		80 - 95	4319	252	45	<1	<1	<1
NONV2.3	Tedlarbag		80 - 95	2087	176	36	5	<1	<1
NONV2.4	Canister		95-110	3076	179	11	<1	<1	<1
NONV2.4	Tedlarbag		95-110	1429	87	7	1	<1	<1
NONV2.5	Canister		110 - 125	5428	450	65	6	<1	<1
NONV2.6	Canister		125-140	10222	659	66	16	7	<1
NONV2.6	Tedlarbag		125-140	3244	331	41	9	4	<1
NONV3.1	Canister		50 - 65	29	<1	<1	<1	<1	<1
NONV3.1	Tedlarbag		50 - 65	2238	109	7	1	<1	<1
NONV3.2	Canister		65 - 80	37	1	<1	<1	<1	<1
NONV3.3	Canister		80 - 95	212	15	<1	<1	<1	<1
NONV3.3	Tedlarbag		80 - 95	1183	42	2	<1	<1	<1
NONV3.6	Canister	(1)	125-140	11	<1	<1	<1	<1	6
Binnenlucht			Hoogte						
Cmulderstr-woonkamer	Canister		150	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Kmulderstr-woonkamer	Koolbuis		150	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,6
Cmulderstr-kruipruimte	Canister		20	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Kmulderstr-kruipruimte	Koolbuis		20	1,36	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,6
CLvJeudestr-kelder	Canister		100	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
KLvJeudestr-kelder	Koolbuis		100	1,37	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,6

(1) Canister deels gevuld als gevolg van hoge grondwaterstand

++ Hoogte ten opzichte van vloer. Diepte ten opzichte van maaiveld.

Tabel 4.8. Resultaten grondwateranalyses Utrecht (uit: Citychlor, 2013a, in prep)

Nachtegalstraat (Mulderstraat), concentraties in µg/l							
Code	Diepte (m)	per	tri	Som cis/ trans	VC	Cis- DCE	trans- DCE
Nfrea1.1	1,65 - 1,90	79	13	20	0,42	20	0,15
Nfrea 1.2	2,00 - 2,25	370	45	61	0,18	61	0,48
Nfrea 1.3	2,65 - 2,90	660	210	270	2	270	2,5
Nfrea 2.1	1,65 - 1,90	930	290	1700	65	1700	16
Nfrea 2.2	2,15 - 2,40	460	78	350	2,7	340	4,2
Nfrea 2.3	2,65 - 2,90	3800	310	820	1,6	810	5,6
Nfrea 3.1	1,65 - 1,90	<0,10	0,12	0,79	0,20	0,72	<0,10
Nfrea 3.2	2,15 - 2,40	21	17	320	5,3	320	1,6
Nfrea 3.3	2,45 - 2,90	0,2	1,20	490	370	490	1,7

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Algemeen

De inventarisatie en toepassing van bemonsterings- en meetmethoden voor vinylchloride die worden besproken in dit rapport waren van een beperkte omvang. Uitspraken over de betrouwbaarheid van methoden en de adviezen die in dit hoofdstuk worden gegeven dienen dan ook in dit licht te worden gezien. Anderzijds geven de resultaten voldoende aanknopingspunten om verschillen tussen de meetmethoden te tonen en te laten zien dat ook met de beste meetmethoden in veel gevallen vinylchloride niet boven de detectiegrens wordt aangetoond.

Nader onderzoek naar de geschiktheid en de prestaties van bemonsterings- en analysemethoden (zie paragraaf 5.5) kan meer inzicht geven in de effectiviteit van methoden en de lotgevallen van vinylchloride in de onverzadigde zone boven verontreinigingen. Daarnaast wordt geadviseerd om op basis van beschikbare kennis het model VolaSoil op korte termijn te verbeteren zodat betrouwbaardere voorspellingen gedaan kunnen worden van de uitdamping naar binnenlucht.

5.2 Inventarisatie

Uit de inventarisatie van geschikte bemonsterings- en analysemethoden komen twee methoden naar voren als meest geschikt en kansrijk om vinylchloride in lucht aan te tonen. Beide methoden zijn gebaseerd op de EPA TO-15 analysemethode. De bemonstering vindt in het ene geval plaats met canisters en in het andere geval met Tedlarbags in een handbediende Vac-u-tube. Met de canisters kan een groter luchtvolume gecontroleerd worden aangezogen over een langere periode (tot twee dagen). De handmatige bemonsteringen met Tedlarbag geven een instantane meting van de luchtkwaliteit.

5.3 Conclusies op basis van luchtmetingen

Bodemluchtmetingen

- In alle monsters van bodemlucht, met uitzondering van één, werd vinylchloride niet boven de detectiegrens aangetroffen.
- Op één locatie is vinylchloride aangetoond in een bodemluchtmonster in een canister. Het monster werd onttrokken aan het diepste filter in de peilbuis, nabij de peilbuis waarin ook de hoogste concentratie vinylchloride in grondwater werd aangetroffen. De betreffende canister werd niet volledig gevuld als gevolg een hoge grondwaterstand ten tijde van de monsternamen. Opvallend is dat in het monster verder slechts een relatief lage concentratie per en geen van de andere VOCL werden aangetoond.
- Het voorgaande laat zien dat vinylchloride aangetoond kan worden, maar er kan niet geconcludeerd worden dat bemonstering met canisters meer geschikt is voor het meten van vinylchloride dan bemonstering met Tedlarbags. Wel is het met canisters mogelijk om een lagere detectiegrens te realiseren en een langere bemonsteringstijd.
- Voor bodemlucht zijn de resultaten voor de overige VOCL van de canisters en de Tedlarbags grotendeels vergelijkbaar wat betreft ordegrrootte. Ook de detectiegrenzen liggen op hetzelfde niveau. Gezien de eenvoud en het

mindere belang van een tijd geïntegreerde meting kan hierdoor de voorkeur worden gegeven aan het gebruik van Tedlarbags.

- Een belemmering in de uitvoering is een te lage doorlatendheid van de bodem. Een lage doorlatendheid bleek in Gelderland eerder kritisch bij het gebruik van de Tedlarbag, dan bij bemonstering met canister (die minder bodemlucht per tijdseenheid aanzuigt). De bemonstering met de canister vergroot de kans om ook in minder doorlatende gronden te meten. In geval van bemonstering van bodemlucht met peilbuizen (Utrecht) vormt de doorlatendheid mogelijk minder snel een probleem.
- Een praktisch probleem van de canisters is dat deze in de openbare ruimte niet onbeheerd achtergelaten kunnen worden. Dit gezien de kosten van de canister en de kans op verstoring van de meting.

Binnenlucht- en kruipruimteluchtmetingen

- Vinylchloride werd in geen van de binnenluchtmonsters aangetoond, terwijl dit op grond van de uitdampingsberekeningen met Sanscrit en VolaSoil (zie tabellen 1.1, 4.1 en 4.3) bij de aangetroffen concentraties in grondwater wel is te verwachten.
- Er kon niet worden aangetoond dat canisters meer geschikt zijn dan koolbuizen voor het meten van vinylchloride in de zin dat hogere concentraties werden gemeten. Doordat met canisters een lagere detectiegrens wordt gehaald én een langere bemonsteringstijd en dus tijdsintegratie te realiseren is, hebben canisters voor vinylchloride wel de voorkeur.
- De relatief lage detectiegrenzen die bij de binnenluchtmetingen met koolbuizen in Utrecht werden gerealiseerd, zijn het gevolg van de langere bemonsteringstijd. De langere bemonsteringstijd valt buiten de specificaties van de gevalideerde NIOSH methode.
- In Barneveld werd een additionele meting met Tedlarbag van kruipruimtelucht uitgevoerd. De uitkomst hiervan ligt dichtbij die van de meting met canister in kruipruimte.
- De resultaten van de binnenluchtmetingen met canisters en met koolbuizen geven voor de gemeten gechloreerde verbindingen resultaten in dezelfde orde van grootte. Voor vinylchloride kan hierover geen conclusie worden getrokken.
- Aanbevolen wordt om te onderzoeken of een Nederlands protocol voor bemonstering en analyse op basis van de EPA TO-15 methode kan worden ontwikkeld.

5.4 Advies voor het meten van vinylchloride

Voor de opzet en belangrijke aandachtspunten bij de uitvoering van luchtmetingen wordt verwezen naar de 'Richtlijn voor luchtmetingen voor de risicobeoordeling van bodemverontreiniging' (Otte et al. 2007).

Op basis van de resultaten van de inventarisatie en bevindingen die zijn opgedaan met de bemonstering en analyse van vinylchloride in het kader van dit onderzoek komen we tot de volgende aanvullende adviezen:

- Bij concentraties vinylchloride in grondwater die lager zijn dan de Interventiewaarde wordt geadviseerd om niet te meten in binnenlucht. Bij

het uitvoeren van stap 3 in Sanscrit kan een binnenluchtconcentratie van $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ worden ingevoerd⁵.

- In overige situaties waarbij met modelberekeningen niet kan worden uitgesloten dat grondwaterverontreinigingen met vluchtige gechloreerde organische verbindingen leiden tot overschrijding van humane risicogrenzen, dienen binnenluchtmetingen uitgevoerd te worden van VOCL (zie de stappen 1-3 van de richtlijn).
- Indien de aanwezigheid van gehalten vinylchloride boven de Interventiewaarde van $5 \mu\text{g}/\text{l}$ in grondwater is vastgesteld en met modellen een overschrijding van de TCL wordt berekend, wordt geadviseerd om 48-uurs bemonsteringen in binnenlucht uit te voeren met canisters (in aansluiting bij stappen 4 & 5 van de richtlijn).
- In situaties waar metingen in zowel binnenlucht als kruipruimtelucht (of kelderlucht) mogelijk zijn, zijn bodemluchtmetingen niet nodig.
- In situaties waarbij wel binnenlucht, maar geen kruipruimteluchtmetingen mogelijk zijn, of geen metingen in binnenmilieu mogelijk zijn (bijvoorbeeld omdat er (nog) geen bebouwing ter plekke van de verontreiniging is), worden bodemluchtmetingen met canisters of Tedlarbags aanbevolen.
- Wanneer er twijfels zijn over de doorlatendheid van de bodem worden voor bodemluchtmetingen canisters aanbevolen waarbij bemonsterd wordt met peilbuizen. Wanneer er sprake is van een onverzadigde zone bestaande uit kleigrond, is het niet mogelijk bodemluchtmetingen uit te voeren.

5.5 Aanbevelingen voor nader onderzoek naar de risicobeoordeling vinylchloride

5.5.1 *Verbetering van de modellering en risicobeoordeling van uitdamping*

De resultaten van de metingen uit dit onderzoek bevestigen het beeld dat de berekening van de mate van uitdamping van vinylchloride naar binnenlucht met modellen overschat wordt (zie paragraaf 1.4). De meest waarschijnlijke verklaring voor deze overschatting, is de aerobe afbraak van vinylchloride in de onverzadigde zone (Lijzen et al. 2012). Op de meetlocatie in Utrecht werd aerobe afbraak aangetoond (Citychlor, 2013a, in prep.).

Geadviseerd wordt om te onderzoeken of op korte termijn (eerste helft 2013), op basis van bestaande kennis, de afbraak van vinylchloride kan worden toegevoegd aan de uitdampingsberekening van het model VolaSoil. Uit onderzoek (Picone, 2012) is gebleken dat de afbraak van vinylchloride in de onverzadigde zone hoger is dan in de waterfase. Een benadering waarbij wordt uitgegaan van beschikbare gegevens over de afbraak van vinylchloride in de waterfase, kan toepasbaar zijn als conservatieve inschatting van de afbraak van vinylchloride gedurende het transport door de onverzadigde zone.

5.5.2 *Referentieonderzoek bemonsterings- en analysemethoden vinylchloride*

Om de betrouwbaarheid van de bemonsterings- en analysemethoden voor vinylchloride te toetsen, wordt geadviseerd om een ringonderzoek onder laboratoria te organiseren. In een dergelijk onderzoek worden standaarden en veldmonsters blind geanalyseerd door deelnemende laboratoria. Uit een dergelijk onderzoek zal blijken of de interlaboratoriumvariatie van de analyse

⁵ De huidige Interventiewaarde in grondwater ($5 \mu\text{g}/\text{l}$) leidt in het standaardscenario tot een overschrijding van het TCL ($\text{TCL}=3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Sanscrit. Een conservatieve implementatie van afbraak in Sanscrit en VolaSoil (zie paragraaf 5.5.1) zal naar verwachting leiden tot een verlaging van de berekende binnenluchtconcentratie van ten minste een factor 10. Door een concentratie van $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in binnenlucht in te voeren in Sanscrit, wordt voorkomen dat grondwaterconcentraties onder de Interventiewaarde worden aangemerkt als 'spoedeisend'.

van vinylchloride zich binnen een aanvaardbare bandbreedte bevindt. Tevens kan bij dit onderzoek aandacht worden besteed aan de stabiliteit van vinylchloride in veldmonsters in canisters en tedlarbags, door de analyses na een serie van tijdsintervallen te herhalen.

5.5.3 *Modelvalidatieonderzoek*

De omvang en opzet van de metingen die in dit rapport worden besproken is te beperkt om kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over de betrouwbaarheid van de toegepaste analysemethoden en de lotgevallen van vinylchloride in de onverzadigde zone. Geadviseerd wordt om een onderzoek te ontwerpen en uit te voeren waarin de uitdamping van vinylchloride vanuit grondwater, ter plekke van één of meer verontreinigingen, meer in detail wordt gemonitord.

6 Referenties

ASTM (2009) ASTM D4766 - 98(2009)e1; Standard Test Method for Vinyl Chloride in Workplace Atmospheres (Charcoal Tube Method). ASTM International.

Citychlor (2013a, in prep.) Vapour intrusion risks at two locations in the urban area of Utrecht (NL). Gemeente Utrecht, AgentschapNL, Deltares. The Netherlands.

Citychlor (2013b, in prep.) Soil vapour and indoor air measurements Sampling of soil vapour and indoor air on the locations Nachtegaalstraat and Amsterdamsestraatweg in Utrecht. Gemeente Utrecht, AgentschapNL. The Netherlands.

Coyne L., Kuhlman C., Zovack N. (2011) The stability of sulphur compounds, low molecular weight gases, and VOCs in five air sample bag materials, SKC Publication 1805 Rev 1207. SKC Inc. Eighty Four, United States.

EPA (1998) Environmental Technology Verification Report, Soil Gas Sampling Technology, Quadral Services, EMFLUX Soil Gas System, EPA/600/R-98/096. United States Environmental Protection Agency.

EPA (1998) Environmental Technology Verification Report, Soil gas sampling technology, GORE-SORBER screening survey, W.L. Gore, EPA/600/R-98/095. United States Environmental Protection Agency.

EPA (1999) Compendium Method TO-15; Determination Of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Air Collected In Specially-Prepared Canisters And Analyzed By Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS). Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition. United States Environmental Protection Agency.

EPA (1999) Compendium Method TO-17. Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes. Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition. United States Environmental Protection Agency.

Entech (2013) Helium Diffusion Sampling (HDS™) for Indoor Air Monitoring. www.entechinst.com/products/air-monitoring/sampling/hds-indoor-air-monitoring/. Geraadpleegd op 6 mei 2013.

De Klinker bv. (2010) NADER GRONDWATERONDERZOEK Raadhuisplein 22 Barneveld. Rapportnummer: 210030-RB2.1/2.2. De Klinker Milieu Adviesbureau, Zutphen.

Hegger, C. (2009) GGD richtlijn medische milieukunde - gezondheidsrisico bodemverontreiniging. RIVM rapport 609330010. RIVM, Bilthoven.

Knol-de Vos T., Fortezza F., Kliet J.J.G. (1998) Bodemluchtonderzoek met de Gassonde. RIVM rapport 712601005. RIVM, Bilthoven.

Lijzen, J.P.A., Van Wijnen, H., Wintersen, A.M. (2012) Risicobeoordeling van vinylchloride. Probleemverkenning uitdampingsrisico's uit grond en grondwater. RIVM briefrapport 607711011/2012. RIVM, Bilthoven.

Martos, P.A. (1997) Air sampling with SPME, Ph.D. dissertation, P.A. Martos, University of Waterloo, Canada.

NIOSH (1994) NIOSH METHOD 1007, 4th Edition, 8/15/94. The National Institute for Occupational Safety and Health. Atlanta, United States.

OSHA (1989) Analytical Methods Manual, Method 75, Apr 1989. Occupational Safety & Health administration. Washington, United States.

Otte P.F., Lijzen J.P.A., Mennen M.G., Spijker J. (2007) Richtlijn voor luchtmetingen voor de risicobeoordeling van bodemverontreiniging. RIVM rapport 711701048. RIVM, Bilthoven.

Pau J.C., Knoll J.E., Midgett M.R. (1991) A Tedlar bag sampling system for toxic organic compounds in source emission sampling and analysis. *J. Air Waste Mgmt. Assn.*: 41:1095-1097.

Picone, S. (2012) Transport and biodegradation of volatile organic compounds: influence on vapor intrusion into buildings. PhD Thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

Promonitoring (2008) Rapportage betreffende binnenluchtonderzoek met betrekking tot VOCL, minerale olieën en BETXN te Elst. Juli 2008. Promonitoring rapport r08148b. Promonitoring, Barneveld.

Promonitoring (2009a) Rapportage betreffende binnenluchtonderzoek met betrekking tot VOCL in twee woningen te Barneveld. Februari 2009. Promonitoring rapport r08379ba. Promonitoring, Barneveld.

Promonitoring (2009b) Rapportage betreffende binnenluchtonderzoek met betrekking tot VOCL in twee woningen te Barneveld. Augustus 2009. Promonitoring rapport r08701ba. Promonitoring, Barneveld.

Promonitoring (2012) Rapportage betreffende binnenluchtonderzoek met betrekking tot VOCL in het pand dorpsstraat 17 te Elst. December 2011. Promonitoring rapport r010030b. Promonitoring, Barneveld.

Promonitoring (2013) concept Rapportage betreffende binnenluchtonderzoek met betrekking tot VOCL en VC in een woning aan de Mulderstraat 3 en een woning aan de Van Lidth van Jeudestraat 19 te Utrecht. December 2012. Promonitoring rapport r010472b-01a, concept. Promonitoring, Barneveld.

Provoost, J. (2013) Soil contamination and indoor air quality. PhD Thesis Open University, Heerlen, The Netherlands.

Sigma Aldrich (1998) Air Sampling of VOCs by SPME for Analysis by Capillary GC. Application note 141: www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Supelco/Application_Notes/4680.Par.001.File.tmp/4680.pdf. Geraadpleegd op 6 mei 2013.

Tauw BV . (2011) Nader bodemonderzoek naar bron en pluim Dorpsstraat 17-21 te Elst. Tauw rapport 4624105. Tauw BV, Deventer.

Valle P. (2012) Soil gas sampling: General overview of passive and active sampling methods. Presentatie 08 juni 2012.

Bijlage 1. TOC componenten

CAS#	Component
Aromaten	
71-43-2	Benzeen
108-88-3	Tolueen
100-41-4	Ethylbenzeen
108-38-3 / 106-42-3	<i>m/p</i> -Xylene
95-47-6	<i>o</i> -Xyleen
100-42-5	Styreen
622-96-8	4-Ethyltolueen
108-67-8	1,3,5-Trimethylbenzeen
95-63-6	1,2,4-Trimethylbenzeen
Gechloreerde aromaten	
120-82-1	1,2,4-Trichlorobenzeen
95-50-1	1,2-Dichlorobenzeen
541-73-1	1,3-Dichlorobenzeen
106-46-7	1,4-Dichlorobenzeen
100-44-7	Benzylchloride
108-90-7	Chlorobenzeen
Alkanen, alkenen	
106-99-0	1,3-Butadien
110-82-7	Cyclohexaan
142-82-5	Heptaan
110-54-3	Hexaan
540-84-1	Isooctaan
115-07-1	Propeen
Chloor, broom,fluorkoolwaterstoffen	
<i>Chloorkoolwatersoffen</i>	
71-55-6	1,1,1-Trichloroethaan
79-34-5	1,1,2,2-Tetrachloroethaan
87-68-3	1,1,2,3,4,4-Hexachloro-1,3-butadiene
79-00-5	1,1,2-Trichloroethaan
75-34-3	1,1-Dichloroethaan
75-35-4	1,1-Dichloroetheen
107-06-2	1,2-Dichloroethaan
78-87-5	1,2-Dichloropropan
75-00-3	Chloroethaan
75-01-4	Chloroetheen (Vinylchloride)
74-87-3	Chloromethaan (Methylchloride)
156-59-2	<i>cis</i> -1,2-Dichloroetheen
10061-01-5	<i>cis</i> -1,3-Dichloropropeen
75-09-2	Dichloromethaan (Methyleenchloride)
127-18-4	Tetrachloroetheen (Tetra)
56-23-5	Tetrachloromethaan

CAS#	Component
156-60-5	<i>trans</i> -1,2-Dichlooretheen
10061-02-6	<i>trans</i> -1,3-Dichloropropen
79-01-6	Trichloroetheen (Tri)
67-66-3	Trichloromethaan (Chloroform)
<i>Broomkoolwaterstof</i>	
106-93-4	1,2-Dibromoethaan
593-60-2	Broometheen
74-83-9	Methylbromide
75-25-2	Tribroommethaan
<i>Chloor_broomkoolwaterstof</i>	
75-27-4	<i>Broomdichloormethaan</i>
124-48-1	<i>Dibroomchloormethaan</i>
<i>Chloor_fluorkoolwaterstoffen</i>	
76-13-1	1,1,2-Trichlorotrifluorethaan (CFK113)
75-71-8	Dichlorodifluormethaan (CFK12)
76-14-2	Dichlorotetrafluorethaan (CFK114)
75-69-4	Trichlorofluormethaan (CFK11)
Ketonen	
67-64-1	Aceton
591-78-6	Methyl_Butyl_Keton (MBK)
78-93-3	Methyl_Ethyl_Keton (MEK)
108-10-1	Methyl_Isobutyl_Keton (MIK)
1634-04-4	Methyl-Tert-Butyl Ether (MTBE)
Acetaten	
141-78-6	Ethylacetaat
108-05-4	Vinylacetaat
Diverse	
123-91-1	1,4-Dioxaan
107-02-8	Acroleine
64-17-5	Ethanol
67-63-0	<i>Isopropylalkohol (IPA)</i>
75-15-0	<i>Koolstofdisulfide (CS2)</i>
80-62-6	Methylmethacrylaat
91-20-3	Naftaleen
109-99-9	Tetrahydrofuraan (THF)

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl