



memo

Onderzoek gezondheidsrisico's voor omwonenden
en passanten door bodemverontreiniging met
benzeen nabij kleine gaslekken

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11
info@rivm.nl

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Uw kenmerk

Behandeld door

Piet Otte
DDB

T 030 274 3965
piet.otte@rivm.nl

Kopie aan

Bijlage(n)

Auteurs:
Piet Otte
Paul Janssen
Frank Swartjes

De rapportage betreft de eerste fase van de studie naar de gezondheidsrisico's voor passanten of omwonenden ten gevolge van benzeenverontreiniging in de bodem nabij kleine gaslekken. De tweede fase omvat locatiebezoek en omgevingsmetingen.

Colofon

© RIVM 2019

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 Netbeheer Nederland.

INHOUDSOPGAVE

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

1	Aanleiding	4
2	Doel en aanpak van het onderzoek	5
3	Benzeen; toxicologie en gedrag	6
3.1	Beschikbare toxicologische beoordelingen	6
3.2	Toxicologische eigenschappen van benzeen	6
3.3	Normen voor de huidige risicobeoordeling	6
4	Gezondheidsrisico's passanten en omwonenden	8
4.1	Benadering	8
4.2	Locaties en bron	8
4.3	Blootstelling (pad)	11
4.4	Receptor de mens	12
4.5	Uitgangspunten voor de risicobeoordeling m.b.t. het beschermingsniveau	13
4.6	Beoordeling van potentiële risico's voor de mens	14
4.7	Gezondheidskundige risicogrenswaarde voor situaties nabij kleine gaslekken	14
4.8	Beoordeling van de blootstelling en het gezondheidsrisico	15
5	Verspreiding van benzeen en de omvang van de verontreiniging in bodem en grondwater	18
5.1	Verspreiding	18
5.2	Afbraak	19
5.3	Uitdamping van benzeen	21
5.4	Conclusie	22
6	Conclusies	23
7	Literatuur	25
8	Bijlage: Resultaten modellering blootstelling en risico's	28

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

1 Aanleiding

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

In Nederland ligt een gasnet in de bodem dat vele tienduizenden kilometers lang is. Door zettingen en trillingen van de bodem, wisselende grondwaterstanden en verwerking is het onvermijdelijk dat kleine lekkages ontstaan. Bij periodieke controles worden deze lekkages zo snel mogelijk gerepareerd met als doel de veiligheid te garanderen. Jaarlijks gaat het om ruim duizend kleine gaslekken.

Uit nader onderzoek is gebleken dat bij ongeveer een derde van deze gaslekken ook sprake is van een bodemverontreiniging met benzeen. Benzeen komt van nature voor in het aardgas. De hoeveelheden variëren van 0,075% w/w (Groningen gas) tot maximaal 0,42% w/w uit kleine gasvelden (van Kesteren et al., 2013).

Naar aanleiding van het inzicht dat gaslekken kunnen leiden tot een bodemverontreiniging met benzeen heeft Netbeheer Nederland¹ direct aandacht besteed aan de veiligheid en gezondheid van monteurs en uitvoerders en hebben de netbeheerders maatregelen genomen voor de veiligheid van haar medewerkers (monteurs en aannemers). Netbeheer Nederland heeft de overheden (rijk, gemeenten en provincies) en andere belanghebbenden hierover geïnformeerd (Netbeheer Nederland, 2018-a en 2018-b).

Omdat de gasnetten grotendeels in het publieke domein gelegen zijn, heeft Netbeheer Nederland het RIVM verzocht onderzoek te doen naar de gezondheidsrisico's voor passanten of omwonenden ten gevolge van benzeenverontreiniging nabij de gaslekken. De vraag is onder meer besproken op een overleg op 12 november 2018 waarbij naast het RIVM ook de vertegenwoordigers van de betrokken overheden aanwezig waren.

¹ Netbeheer Nederland is de brancheorganisatie van alle elektriciteit- en gasnetbeheerders van Nederland

2 Doel en aanpak van het onderzoek

Datum
7 februari 2019

Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

Een wetenschappelijke studie is uitgevoerd naar de gezondheidsrisico's voor het publiek (passanten) ten gevolge van bodemverontreiniging met benzeen nabij gaslekken. Voor deze studie is gebruikt gemaakt van de resultaten van verricht veldonderzoek in de periode oktober-november 2018. De gegevens zijn door de Netbeheerders ter beschikking gesteld.

Deze studie heeft als doel om inzicht te verschaffen in het stofgedrag en de mogelijke gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan benzeen en het gedrag van benzeen in de bodem

Het toxicologisch profiel van benzeen wordt in het kort beschreven op basis van de meest recente wetenschappelijke kennis, inclusief afgeleide MTR-waarden en milieukwaliteitsnormen voor lucht voor de algemene bevolking. Ook advieswaarden voor beroepsmatige blootstelling zullen worden beschreven en toegelicht.

De risicobeoordeling wordt uitgevoerd op basis van de beschikbare veldgegevens, de gemodelleerde blootstelling en een toetsing aan de voor benzeen beschikbare toxicologische normen.

Voor de risicobeoordeling zullen een 'gemiddelde situatie' en een 'worst-case situatie' worden beoordeeld zodat inzicht wordt verkregen in de bandbreedte van mogelijke gezondheidsrisico's. RIVM hanteert voor de risicobeoordeling de methodiek uit de regelgeving van de wet Bodembescherming voor de beoordeling van bodemverontreiniging en – sanering. De toetsing van de blootstelling wordt gedaan aan de toetscriteria die gelden voor bodemverontreinigingssituaties (orale en inhalatoire MTR-waarden).

- De toetsing van de berekende blootstelling wordt gedaan aan de toetscriteria die gelden voor bodemverontreinigingssituaties, het maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR) voor orale blootstelling en blootstelling via lucht.
- Voor benzeen is er naast het MTR_{lucht} een wettelijke milieukwaliteitsnorm voor lucht. De berekende luchtconcentratie wordt ook daarmee vergeleken en met de geurdrempel.
- Interpretatie van de beschikbare veldgegevens die door de Netbeheerders ter beschikking worden gesteld om te gebruiken voor de risicobeoordeling.

Ten behoeve van de evaluatie van de praktijksituatie zal RIVM op een nog te bepalen moment twee tot vier locatiebezoeken uitvoeren inclusief veldmetingen van de omgevingskwaliteit en interpretatie van de metingen. De rapportages zullen daarna worden samengevoegd tot een definitieve rapportage.

3 Benzeen; toxicologie en gedrag

Datum
7 februari 2019

Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

3.1 Beschikbare toxicologische beoordelingen

Het RIVM heeft de toxicologie van benzeen diverse keren beoordeeld. In 2001 deed het RIVM een voorstel voor geactualiseerde MTR-waarden voor orale en inhalatoire blootstelling aan benzeen (RIVM 2001). Dit was een vervolg op eerdere MTR-afleidingen uit 1991 en 1993. Een belangrijk brondocument voor de beoordeling uit 2001 was de afleiding van een Europese grenswaarde voor benzeen in lucht voor de algemene bevolking door een EU-werkgroep (EU 1998). Deze Europese grenswaarde geldt op dit moment in Nederland als wettelijke luchtkwaliteitsnorm voor benzeen.

In 2011 en 2013 heeft het RIVM risicobeoordelingen voor twee casussen van benzeenblootstelling uitgevoerd. De eerste betrof het mogelijke gezondheidsrisico door blootstelling via het wapenreinigingsmiddel PX-10 zoals gebruikt in het Nederlandse leger (RIVM 2011). Deze beoordeling was in samenwerking met o.a. IOM in Edinburgh en IRAS in Utrecht. De tweede casus was een beoordeling van de mogelijke gevolgen voor de gezondheid van de wijziging van de benzeenlimiet voor aardgas (van 0,1% w/w naar 0,1% v/v) (RIVM 2013).

Andere beoordelingen gericht op het afleiden gezondheidkundige referentiewaarden voor blootstelling van de algemene bevolking via lucht zijn die door US-EPA (2003), WHO (2000), WHO (2010) en ATSDR (2007; 2015). Op Europees niveau is voor benzeen een Risk Assessment Report opgesteld (EU-RAR 2008).

Voor de blootstelling van werknemers aan benzeen heeft de commissie DECOS van de Gezondheidsraad in 2014 een nieuwe advieswaarde voorgesteld (Gezondheidsraad 2014).

3.2 Toxicologische eigenschappen van benzeen

Uit de omvangrijke literatuur over de toxicologie van benzeen komt naar voren dat bij acute blootstelling effecten op het zenuwstelsel kritisch zijn maar deze doen zich pas voor bij relatief hoge blootstellingsniveaus. Het belangrijkste doelorgaan bij herhaalde blootstelling is het bloedvormende systeem. De hematotoxische werking van benzeen is aangetoond in de mens en in proefdieren. Zowel in proefdieren als mensen is gevonden dat dit kan leiden tot het ontstaan van leukemie.

3.3 Normen voor de huidige risicobeoordeling

In de EU geldt voor benzeen een officiële grenswaarde voor lucht voor de algemene bevolking van $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (EU 2008). Dit is in Nederland de wettelijke milieukwaliteitsnorm op basis van de Wet milieubeheer. Deze waarde is afgeleid door een EU-werkgroep, zoals beschreven in RIVM (2001). Op basis van een risicokwantificering door middel van lineaire extrapolatie van de incidentie van leukemie zoals gevonden in een arbeidstoxicologische studie voor benzeen concludeerde de EU-werkgroep dat het extra kankerisico van 1 één op miljoen per leven bij levenslange

blootstelling aan benzeen bereikt wordt bij een concentratie tussen 0,2 en 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Op basis van deze range is 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als grenswaarde voor lucht gekozen voor de algemene bevolking in de EU (RIVM 2001; EU 2008). Zoals gezegd is dit de wettelijke norm in Nederland. Op basis van de risicokwantificering door de EU-werkgroep berekende het RIVM in 2001 een inhalatoir $\text{MTR}_{\text{lucht}}$ van 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De $\text{MTR}_{\text{lucht}}$ is de wettelijk geldende norm voor de beoordeling van de risico's ten gevolge van bodemverontreiniging (Circulaire bodemsanering, 2013) waarbij het extra kankerrisico gelijk is aan één op tienduizend per leven bij levenslange blootstelling. Benzeen is ook kankerverwekkend na orale toediening, zo blijkt uit proefdierstudies. Voor de blootstelling via de orale route werd het $\text{MTR}_{\text{lucht}}$ van 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ omgerekend via route-to-route extrapolatie, leidend tot een orale MTR van 3,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht/dag berekend (RIVM 2001).

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

In de huidige beoordeling wordt voor de algemene bevolking uitgegaan van de grenswaarde voor blootstelling via de lucht van 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ omdat dit de wettelijk vastgelegde milieukwaliteitsnorm is. Het afgeleide $\text{MTR}_{\text{lucht}}$ voor lucht op basis van deze norm is 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en het afgeleide $\text{MTR}_{\text{oraal}}$ 3,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht/dag (RIVM (2001)). Deze waarden zijn gebaseerd op lineaire extrapolatie vanuit de tumorfrequenties zoals waargenomen in een arbeidstoxicologische studie. De keuze voor deze waarden sluit aan bij de risicobeoordelingen door het RIVM in 2011 en 2013 (waarin ook lineaire geëxtrapoleerd werd). Lineaire extrapolatie zoals toegepast voor benzeen is een conservatieve (d.w.z. strenge) schatting van het werkelijke risico.

Voor de beoordeling van de blootstelling van werknemers is er een advieswaarde van 0,7 mg/m^3 zoals voorgesteld door de Gezondheidsraad (2014). Deze waarde is met een andere berekeningswijze afgeleid dan de bovengenoemde normen voor de algemene bevolking, nl. niet door lineaire extrapolatie maar uitgaand van een werkingsdrempel. Over het exacte mechanisme van de inductie van leukemie door benzeen bestaat wetenschappelijke onzekerheid (McHale et al. 2012; RAC 2018; IARC 2018). Gezien deze onzekerheid over het mechanisme en over de geëigende afleidingswijze (wel of geen drempel) is het relevant erop te wijzen dat eerdere drempelbenaderingen op basis van hematotoxiciteit uitkwamen op 10 tot 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als normen voor de algemene bevolking, dat wil zeggen in dezelfde range als de bovengenoemde waarden van 5 en 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (RIVM 1993; US-EPA 2003; ATSDR 2007).

4 Gezondheidsrisico's passanten en omwonenden

Datum
7 februari 2019

Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

4.1 Benadering

De risicobeoordeling is uitgevoerd waarbij het beoordelingskader uit de huidige wet- en regelgeving voor bodemverontreiniging (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013) als leidraad geldt. Voor de beoordeling van de gezondheidsrisico's van benzeenverontreiniging nabij gaslekken is de risicobeoordeling echter toegesneden op de specifieke problematiek en omstandigheden rondom kleine gaslekken.

Voor de specificatie van de locaties nabij kleine gaslekken zijn de meetgegevens van het feitenonderzoek door Anteagroup (Bloemen, 2018) en het aanvullend onderzoek door Stantec (Thomasson en Pieters, 2018) bestudeerd vanuit het perspectief van de beoordeling van gezondheidsrisico's.

De beoordeling van risico's vindt plaats conform de bron-pad-receptor benadering. Op basis van de genoemde veldonderzoeken zijn de locatiespecifieke omstandigheden, de parameterisatie en de bandbreedte waartussen de waarden zich op landelijk schaal bevinden, bepaald voor bron, pad en receptor.

4.2 Locaties en bron

Uit het veldonderzoek van Anteagroup en Stantec (Bloemen, 2018 en Thomasson en Pieters, 2018) is gebleken dat alle locaties in de openbare publieke ruimte liggen. Bij het veldonderzoek is gestreefd naar een geografische spreiding van de onderzochte locaties. Locaties waar mogelijk andere bronnen van benzeenverontreiniging aanwezig zijn (bijvoorbeeld door de nabijheid van olietanks; zogenaamde verdachte locaties), werden uitgesloten van het onderzoek.

Alle onderzochte locaties liggen in de publieke ruimte en zijn dus toegankelijk voor publiek. Er zijn geen locaties gerapporteerd waarbij het gaslek onder een woning ligt. De bodem kan afgedekt zijn door bijvoorbeeld bestrating of zonder afdekking zijn zoals het geval is bij wegbermen of plantsoenen.

Er zijn op de onderzochte locaties bodemluchtmetingen en analyses gedaan van benzeen en VOC. VOC is de verzamelnaam voor vluchtige organische contaminanten. Voor deze specifieke casus betreft het de stoffen benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen, ook bekend onder de verzamelnaam BTEX.

4.2.1 *Gemeten verontreinigingsniveaus*

Er zijn op 145 locaties bodemonsters genomen. Het totaal aantal monsters is 307. Bodemlucht is op meer dan 100 locaties gemeten, waar mogelijk op twee diepten (Bloemen, 2018 en Thomasson en Pieters, 2018).

Analyseresultaten bodemmonsters

Aantal locaties	145
Aantal monsters	307 (steekbussen)

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Aangetroffen concentraties in mg/kg d.s.

	min.	max
Benzeen	< 0,05	3,1
Aantal locaties > IW	19 na correctie voor organische stof	
Aantal locatie matig verhoogd	8	
Aantal locaties niet verhoogd	93	
Overige aromaten		
	min.	max.
Tolueen	<0,05	0,43
Ethylbenzeen	<0,05	0,19
Xylenen	<0,05	0,8
Naftaleen	<0,05	1,1
THT	<1	<1 (Stantec onderzoek)
Aantal locaties > IW	0	
Aantal locaties licht verhoogd	25	

Gemeten bodemlucht concentraties.

	Gemeten concentraties (range)
VOC	van 0,000 ppm tot 90,4 ppm
Gehalten benzeen	van 0,000 ppm tot 4,650 ppm
	4650 ppm komt overeen met 300 mg/m ³ .

4.2.2 Bodemtype

Op de meeste locaties is er sprake van een zandige bodem. Van de in totaal 145 meetlocaties liggen slechts 7 locaties in een bodemtype klei. Incidenteel is de bodem vermengd met puin. Op locaties met een puinlaag zijn geen monsters gestoken.

De zandige bodem heeft een laag organisch stof gehalte (kleiner dan 2%).

Een relatie van de mate van verontreiniging met het bodemtype is niet gevonden

Aantal locaties kleigrond	7
Verhoogd benzeen gehalte	1
Benzeen licht verhoogd	1

Aantal locaties zandig	138
Benzeen gehalte > IW	19 na correctie voor organische stof
Verhoogd benzeen gehalte	7

Diepte monsternamen (bodemlagen)

Toplaag	0,05 – 0,25 m-mv (beneden maatveld)
Onderliggende laag	0,30 – 0,5 m-mv (beneden maaiveld)

M.b.t. het voorkomen van verontreinigingen in verschillende bodemlagen concludeert men op basis van de metingen dat over het geheel genomen de gehalten aan verontreinigingen in de (diepere) onderliggende bodemlaag hoger zijn dan de gehalten in de toplaag.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

4.2.3 *Omvang van het verontreinigd gebied*

Van vier locaties is een schatting gemaakt van het verontreinigd bodemvolume boven de tussenwaarde² (Thomasson en Pieters, 2018). Voor deze vier locaties bleek er naar schatting 6 m³ grond verontreinigd te zijn boven tussenwaarde². De afperking in verticale richting onder de gasleiding bleek niet op alle locaties mogelijk. Uit het onderzoek bleek dat tot minimaal 0,2 m onder de gasleiding de grond verontreinigd was. Op basis van deze onderzoeksgegevens wordt, voor de risicobeoordeling, voorlopig aangenomen dat de omvang van het verontreinigd gebied per locatie zeer beperkt is (kleiner dan 25 m³). Echter, omdat de afperking van het verontreinigd gebied niet altijd goed mogelijk was, wordt een vervolgonderzoek geadviseerd (Thomasson en Pieters, 2018).

4.2.4 *Uitgangspunten voor de risicobeoordeling m.b.t. locaties en bron*

Voor de parameterisatie van de verontreinigingssituatie en de mate van verontreiniging zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De beoordeling van gezondheidsrisico's vindt plaats op basis van de waargenomen benzeen gehalten in de bodem. Andere aromaten komen in minder hoge gehalten voor en zijn ook minder toxisch. Benzeen is in de onderzochte situaties de meest kritische stof voor het gezondheidsrisico.
- Voor de risicobeoordeling wordt uitgegaan van het maximaal aangetroffen gehalte aan benzeen in de grond. Ter vergelijking wordt ook een risicobeoordeling uitgevoerd op basis van de 95 percentiel waarde (P95) van benzeen. Een P95 waarde is een conservatieve waarde (veilige waarde) om de risico's te bepalen waarbij tevens wordt voorkomen dat een individuele uitschieter (de maximale waarde) bepalend is voor de beoordeling. Voor de vaststelling van de P95 waarde zijn alleen de locaties meegenomen waar een benzeen verontreiniging is waargenomen.
- Een risicobeoordeling op basis van bodemluchtmetingen is voor de bepaling van risico's niet relevant. De normering en de risicomodellen zijn gebaseerd op totaal concentraties in de grond. Er zal worden bekeken in welke mate de bodemluchtgehalten de risicobeoordeling op basis van bodemgehalten ondersteunen. Bodemluchtmetingen kunnen nodig zijn bij twijfel over de relatie tussen bron en gemeten gehalten in de contactzone.
- Volgens de regelgeving voor de aanpak van bodemverontreiniging (Circulaire bodemsanering, 2013) is er sprake van een ernstige verontreiniging als de interventiewaarde contour een oppervlakte heeft van meer dan 50 m² of het verontreinigd bodemvolume meer dan 100

² De tussenwaarde (TW) is het gemiddelde van de achtergrondwaarde en de interventiewaarde. Deze waarde geeft de milieukwaliteit aan, waarbij er sprake is van verhoogde, maar in het algemeen niet potentieel onaanvaardbare, risico's voor mens of milieu. Overschrijding van deze waarde is indicatief voor de noodzaak van een nader onderzoek naar de kwaliteit van de bodem.

m³ is. Op basis van het onderzoek van Stantec wordt ingeschat dat de bodemverontreiniging nabij kleine gaslekken niet de omvang zal hebben van een ernstige verontreiniging in de zin van de Wet Bodembescherming (Wbb).

Voor de beoordeling van de risico's van een bodemverontreiniging wordt conform de regelgeving (Circulaire bodemsanering, 2013) standaard uitgegaan van een verontreinigd gebied van minimaal 25 m³ waarbij het gemiddelde van de gemeten concentraties binnen de contour hoger is dan de interventiewaarde. Dit is vier maal de hoeveelheid verontreinigde grond die op vier locaties kon worden vastgesteld (6 m³ op basis van tussenwaarde) en is daarmee vanuit risicoperspectief een conservatieve (dus veilige) keuze.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

In tabel 1 worden de locatiegegevens voor de risicobeoordeling samengevat. De hoogst aangetroffen gehalte bevinden zich op een diepte van 0,30 – 0,5 m beneden maaiveld. Dat is de bodemlaag direct boven de gasleiding. Voor de risicobeoordeling is een diepte genomen van 0,5 m (dit is de minimale diepte voor de beoordeling van vluchtige organische stoffen in de bodem).

Het bodemtype is overwegend zandig met een laag organisch stofgehalte (kleiner dan 2 %).

Een goed doorlatende bodem (zandig) met een laag organisch stofgehalte is voor de uitdamping van benzeen het meest risicovol. De beoordeling is daarom gebaseerd op dit bodemtype. Conform de systematiek van de Wbb worden de risico's bepaald op basis van een organisch stofgehalte van 2 % (de minimum waarde voor de bepaling van risico's).

Tabel 1: Samenvattend: invoer voor risicobeoordeling.

stof	benzeen
Concentratie bodem	maximaal 3,1 mg/kg d.s. 95 Percentielwaarde 1,55 mg/kg d.s.
Concentratie bodemlucht	zo mogelijk als ondersteunende informatie
omvang verontreinigd gebied	25 m ³
diepte verontreiniging	0,5 m
bodemtype	zandig, goed doorlatend
Organisch stofgehalte	2 %

4.3 Blootstelling (pad)

De onderzochte locaties liggen allemaal in openbaar toegankelijk gebied. Er is geen melding gedaan dat er zich gaslekken bevinden onder woningen.

Voor de blootstelling betekent dit dat de uitdamping van vluchtige verontreinigingen uit de bodem die zich vervolgens via de kruipruimte naar de woonruimte verspreiden niet aan de orde is. De blootstelling door verontreinigde binnenlucht (in woonruimten) wordt daarom niet meegenomen in de risicobeoordeling. Zie paragraaf 4.3.1. voor een toelichting op de blootstellingsroutes.

4.3.1 *Uitgangspunten voor de risicobeoordeling m.b.t. de blootstellingsroutes*

Gaslekken kunnen voorkomen in zowel de bebouwde omgeving als in het buitengebied. Verontreinigde locaties in de bebouwde omgeving zijn het meest risicovol en vanwege de mogelijk frequente aanwezigheid van passanten is daar het blootstellingsrisico het grootst. Voor de berekening van de blootstelling en bepaling van gezondheidsrisico's zijn alle relevante blootstellingroutes voor de openbare ruimte in de bebouwde omgeving meegenomen (tabel 2). Het verblijfsscenario (contactfrequentie en verblijftijden) is gelijk gesteld aan dat voor 'wonen met tuin' (het standaard blootstellingsscenario voor de functie wonen) en, ter vergelijking, aan het verblijfsscenario voor 'infrastructuur'. Voor het verblijfsscenario voor 'wonen met tuin' zijn de verblijftijden en contactfrequenties gelijk aan woonsituaties. Het verblijfsscenario voor 'infrastructuur' is het meest toegesneden op de gemiddelde situaties. Door het gebruik van beide scenario's kan de bandbreedte van de risico's in beeld worden gebracht.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Tabel 2: Samenvattend: blootstellingsroutes

blootstellingsroute	Wordt meegenomen bij de beoordeling van risico's
Ingestie van verontreinigde gronddeeltjes	ja
Huidcontact van verontreinigde grond	ja
Inname via consumptie van groenten en aardappels (kleine moestuin in de nabijheid van de verontreiniging)	nee, de locaties bevinden zich in de openbare ruimte
Inhalatie van verontreinigde lucht buiten	ja
Inhalatie van verontreinigde lucht binnen	nee, de verontreiniging bevindt zich niet onder een woning
Blootstelling via drinkwater na permeatie van de verontreiniging door de drinkwaterleiding	ja

4.4 Receptor de mens

Het beleid voor de beoordeling van de kwaliteit van grond- en grondwater is gericht op bescherming van de mens tegen schadelijke gezondheidseffecten bij levenslange blootstelling. Door dit uitgangspunt te nemen is de mens daarmee ook beschermd tegen kortdurende blootstelling. De beoordeling van verontreinigingssituaties richt zich tevens op het voorkomen van aantoonbare hinder (door onder andere stank en huidirritatie).

Voor de risicobeoordeling wordt de blootstelling getoetst aan het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau voor de mens (MTR).

Dit is een blootstellingsniveau uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht/dag, waarbij, bij levenslange blootstelling voor stoffen met een drempelwaarde, geen nadelige gezondheidseffecten zijn te verwachten. Voor stoffen zonder drempelwaarde (genotoxisch carcinogenen) geldt dat er altijd een risico is op een nadelig effect.

Voor deze stoffen is beleidsmatig een geaccepteerd risiconiveau vastgesteld waaraan het MTR is gekoppeld. Dit risiconiveau is een extra kankerrisico van een op 10.000 (1 op 10^4) per leven (= 1 op 10^6 per jaar). Voor vluchtige stoffen, waaronder benzeen, is er tevens een toetsing aan het MTR_{lucht} (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Omdat er voor benzeen naast het MTR_{lucht} een wettelijke luchtkwaliteitsnorm geldt wordt ook daaraan getoetst.

De vastgestelde beschermingsniveaus zijn op een zodanig niveau dat zij ook bescherming bieden aan gevoelige individuen (zwangeren en zieken), tijdens gevoelige levensfasen (bijvoorbeeld kleine kinderen of ouderen) en bij een langdurige (levenslange) blootstelling.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

4.5 **Uitgangspunten voor de risicobeoordeling m.b.t. het beschermingsniveau**

De beoordeling van de gezondheidsrisico's is uitgevoerd op basis van de beoordelingssystematiek uit de Wbb en daarmee samenhangende regelgeving.

Naast de bescherming van de gezondheid richt het beheer van bodemverontreiniging zich ook op de bescherming van het ecosysteem en op het voorkomen van verspreiding van verontreinigingen via het grondwater.

Ecologische- en verspreidingsrisico's zijn vanwege de zeer kleine omvang van de verontreinigde locaties niet aan de orde.

De Interventiewaarde is de norm die gebruikt wordt om te bepalen of er sprake is van een ernstige verontreiniging (eerste toets) in combinatie met een toets op de omvang van het verontreinigd gebied. De Interventiewaarden zijn vaste waarden (voor de standaardbodem) en hebben betrekking op potentiële risico's. Tabel 3 geeft een samenvatting van de relevante uitgangspunten.

Tabel 3: Samenvattend: Uitgangspunten risicobeoordeling

naam	gegeven	toelichting
stof	benzeen	
Toxicologische grenswaarde (MTR_{oraal})	3,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ lg/d	toetsing gezondheidsrisico ¹⁾ t.g.v. bodemverontreiniging
Grenswaarde lucht (TCL) ³⁾	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wettelijke luchtkwaliteitsnorm 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MTR_{lucht} niveau	toetsing kwaliteit lucht ¹⁾
Geurdrempel (mediaan – min)	80.000 – 5.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	toetsing hinder (stank) ¹⁾
Interventiewaarde grond	1,1 mg/kg d.s.	toetsing ernstig geval bodemverontreiniging ¹⁾
Drinkwaternorm	1 $\mu\text{g}/\text{L}$	toetsing kwaliteit drinkwater ²⁾

¹⁾ Circulaire bodemsanering, 2013

²⁾ Drinkwaterbesluit, 2011

³⁾ Grenswaarden voor lucht zijn gebaseerd op toxicologische grenswaarden voor chronische blootstelling

4.6 Beoordeling van potentiële risico's voor de mens

De beoordeling van potentiële risico's ten gevolge van bodemverontreiniging gebeurt op basis van de toetsing van de gemeten concentraties benzeen aan de Interventiewaarde samen met de omvang van de verontreinigde locatie (het tweede criterium).

Als er een potentieel risico is dient op basis van een risicobeoordeling te worden onderzocht of er sprake kan zijn van onaanvaardbare risico's.

Er is sprake van een geval van ernstige verontreiniging indien voor ten minste één stof de gemiddelde gemeten concentratie van minimaal 25 m³ bodemvolume in het geval van bodemverontreiniging, of 100 m³ poriënverzadigde bodemvolume in het geval van een grondwaterverontreiniging, hoger is dan de interventiewaarde (circulaire bodemsanering, 2013).

Uit het aanvullend onderzoek van Stantec (Thomasson en Pieters, 2018) kunnen nog geen definitieve conclusies worden getrokken over de horizontale en verticale verspreiding van de verontreiniging en de precieze omvang. Uit het aanvullend bodemonderzoek Stantec werd ingeschat dat het verontreinigd bodemvolume boven de tussenwaarde naar schatting 6 m³ grond bedroeg waaruit blijkt dat de omvang van de verontreiniging zeer beperkt is. De waarschijnlijkheid van een geval van ernstige verontreiniging (artikel 29 Wbb) is daarmee klein. Conform de huidige regelgeving is er dan geen sprake van potentiële risico's.

Het gegeven dat de locaties zich in de openbare ruimte bevinden en dat er geen aanwijzingen zijn (gezien de zeer geringe omvang van de verontreiniging) dat de benzeenverontreiniging zich (in concentraties boven interventiewaarden) kan verplaatsen onder een woonruimte maakt de kans op onaanvaardbare risico's zeer klein.

4.7 Gezondheidskundige risicogrenswaarde voor situaties nabij kleine gaslekken

Voor een meer toegesneden toetsing van mogelijke (potentiële) risico's voor de gezondheid is een risicogrenswaarde voor benzeen afgeleid op basis van twee blootstellingsscenario's.

- 1) blootstellingsscenario wonen. Dit blootstellingsscenario wordt als representatief beschouwd voor de beoordeling van situaties dat een gaslek zich bevindt in de openbare ruimte in een woonwijk met een intensief gebruik van die openbare ruimte en bodem (een 'realistic worst case')

Dit blootstellingsscenario is voor de contactmogelijkheden gebaseerd op het standaard scenario voor de afleiding van interventiewaarde bodem. Omdat de verontreinigde locatie zich allemaal in de openbare ruimte bevinden zijn de blootstelling via binnenlucht en consumptie van gewassen uit eigen tuin (zie paragraaf 2.3) niet relevant geacht en daarom niet meegenomen in de beoordeling van risico's.

- 2) blootstellingsscenario infrastructuur. Dit kan als representatief voor een gemiddelde situatie in de bebouwde omgeving worden beschouwd.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Tabel 4 geeft de risicogrenswaarden en ter vergelijking de maximaal aangetroffen waarde voor benzeen en de 95 percentiel waarde. Voor de toetsing is uitgegaan van een zandige en goed doorlatende bodem met een laag organisch stofgehalte (2% organisch stof).

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Tabel 4: Berekende risicogrenswaarden benzeen voor situaties nabij kleine gaslekken

	mg/kg ds	toelichting
Risicogrenswaarde benzeen voor infrastructuur (in mg/kg d.s.)	13	blootstellingsscenario voor de openbare ruimte in de bebouwde omgeving.
Risicogrenswaarde benzeen voor wonen (in mg/kg d.s.)	13,1	blootstellingsscenario voor intensief gebruikte openbare ruimte in woonwijken.
Maximaal aangetroffen concentratie	3,1	De maximaal gemeten waarde
P95 aangetroffen concentratie	1,55	De 95 percentielwaarde op locaties waar benzeen is gemeten

De conclusie is dat de 95 percentiel waarde van de aangetroffen benzeen concentraties een factor 8 lager is dan de afgeleide risicogrenswaarden. Ook de maximaal aangetroffen concentratie is ten minste een factor 4 lager.

Verder wordt geconstateerd dat de risicogrenswaarden voor wonen en infrastructuur niet veel van elkaar verschillen. De twee scenario's verschillen namelijk vooral m.b.t. de contactfrequentie. Die is bij 'wonen' hoger. Echter blijkt dat de contactfrequentie niet sterk bepalend is voor de hoogte van de blootstelling.

De belangrijkste blootstelling vindt plaats door het gebruik van drinkwater dat benzeen kan bevatten door permeatie van benzeen in de bodem door PE drinkwaterleidingen. Deze blootstelling is voor 'wonen' en 'infrastructuur' gelijk omdat in beide scenario's de aanwezigheid van drinkwaterleidingen wordt verondersteld. In de volgende paragraaf wordt hierop nader ingegaan.

4.8 Beoordeling van de blootstelling en het gezondheidsrisico

De blootstelling voor de mens is berekend op basis van de blootstellingsscenario's voor wonen, voor twee concentratieniveaus (maximaal gemeten concentratie aan benzeen en de 95 percentiel waarde van de locaties waar benzeen was gemeten).

De berekening is gedaan met het CSOIL model (Brand et al., 2007). Dit model is de basis voor de beoordelingssystematiek voor bodemverontreiniging zoals beschreven in de circulaire bodemsanering (2013). CSOIL is voor de beoordeling van de risico's voor de mens ingebouwd in Sanscrit (www.sanscrit.nl).

Vanwege de specifieke verontreinigingssituatie rondom kleine gaslekken is de beoordeling hierop toegesneden. We spreken daarom van een locatiespecifieke beoordeling overeenkomstig met stap 3 van de Sanscrit

beoordeling. Dit verschilt daarmee van de bepaling van potentiële risico's welke meer generiek (algemeen) van aard is.

Datum
7 februari 2019

De levenslang gemiddelde blootstelling is per blootstellingroute berekend, zie hiertoe tabel 2. De gesommeerde blootstelling is maximaal 0,10 µg/kg lichaamsgewicht per dag bij een maximaal bodemgehalte van 3,1 mg/kg benzeen.

Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

De totale blootstelling mag het MTR (3,3 µg /kg lichaamsgewicht per dag) niet overschrijden (zie tabel 5).

Tabel 5: Blootstelling (levenslang gemiddeld) voor de relevante blootstellingsroutes in µg/kg lichaamsgewicht per dag.

bodemgehalte in mg/kg	ingestie grond	dermale opname grond	inhalatie grond	inhalatie buitenlucht	via drinkwater
3,1 mg/kg	0,0038	0,0004	<0,0001	0,0162	0,0838
1,55 mg/kg	0,0019	0,0002	<0,0001	0,0081	0,0419

De verhouding van blootstelling en MTR (de risico-index) is een maat voor het risico. De blootstelling mag het MTR niet overschrijden, dat wil zeggen dat de risico index kleiner of gelijk aan 1 moet zijn (Tabel 6). Tabel 7 geeft de procentuele bijdrage aan de totale blootstelling per blootstellingroute.

Tabel 6: Risico-index (blootstelling/MTR) voor de relevante blootstellingsroutes.

bodemgehalte in mg/kg	ingestie grond	dermale opname grond	inhalatie grond	inhalatie buitenlucht	via drinkwater
3,1 mg/kg	0,0012	0,0001	<0,0001	0,0049	0,0254
1,55 mg/kg	0,0006	0,0001	<0,0001	0,0025	0,0127

Tabel 7: Procentuele verdeling van de blootstellingsroutes

bodemgehalte in mg/kg	ingestie grond	dermale opname grond	inhalatie grond	inhalatie buitenlucht	via drinkwater
3,1 mg/kg	4%	0%	0%	16%	80%
1,55 mg/kg	4%	0%	0%	16%	80%

In tabel 7 wordt de procentuele verdeling van de blootstelling over de verschillende routes gegeven. Hieruit blijkt dat de blootstelling het hoogst is via drinkwater en via de inhalatie van lucht (buiten).

Beide blootstellingsroutes zijn moeilijk te modelleren en de onzekerheid is groot. Die leidt, volgens de leidende benadering voor risicobeoordelingen, tot een conservatieve (voorzichtige) keuze van parameters en

modellering. De resultaten van de blootstellingsberekening zullen daarom meestal een overschatting zijn van de werkelijke blootstelling, echter absolute zekerheid (voor alle mogelijke situaties) is daarover niet te geven.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

De berekende buitenluchtconcentraties variëren van 0,4 tot 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit is een maximale range (op basis van 'worst-case' aannamen) die in de praktijk sterk zal worden beïnvloed door afstand, weersomstandigheden, de grootte van de bron (de toevoer) en de infrastructuur (open of gesloten bodem). De berekende range ligt onder de wettelijke norm van 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

De mogelijke blootstelling via drinkwater (na permeatie door PE drinkwaterleidingen) is een punt van aandacht.

RIVM en KWR hebben vrij recentelijk een beoordelingsmethodiek en een model ontwikkeld om het risico van permeatie beter in te schatten (Otte et al, 2016). Van benzeen is bekend dat dit één van de stoffen is die door een PE waterleidingbuis kunnen dringen en de drinkwaterkwaliteit kunnen aantasten.

De berekende benzeenconcentratie in het drinkwater (na veronderstelde permeatie) heeft een concentratie range van 0,8 tot 1,7 $\mu\text{g}/\text{L}$. Het betreft hier de concentratie van het benzeen in drinkwater over een lengte van 10 meter in stilstand drinkwater. Ook deze concentratierange moet worden ingeschat als een 'worst-case'. De berekende concentratie overschrijdt de drinkwaternorm van 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5 Verspreiding van benzeen en de omvang van de verontreiniging in bodem en grondwater

Datum
7 februari 2019

Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

De omvang van een verontreinigde locatie wordt bepaald door de bron (de toevoer van benzeen en de tijdsduur van de lekkage) en het gedrag van benzeen in de grond. Voor de omvang van een verontreinigde locatie zijn de mobiliteit of het transport (verspreiding en uitdamping) en de afbraak van benzeen in de ondergrond in hoge mate bepalend.

5.1 Verspreiding

Voor organische stoffen (zoals benzeen) geldt dat de verspreiding (transport) in de bodem en het grondwater afhangt van de fysisch-chemische condities in de bodem en de ondergrond. De transportsnelheid van een stof wordt bepaald door twee processen: de stromingssnelheid van water en de sorptie van de stof.

De stromingssnelheid van water hangt af van het bodemtype (poriegehalte; hydraulische eigenschappen) en het verhang van de grondwaterspiegel. In de onverzadigde zone, de bodem boven de grondwaterspiegel, hangt de stromingssnelheid van het grondwater tevens sterk af van de vochtigheid van de bodem. In het traject van droog naar verzadigd zal de stromingssnelheid sterk toenemen. In het natuurlijk bodemsysteem kan de stromingssnelheid van grondwater variëren van honderden meters per jaar in verzadigde zandgrond tot centimeters per jaar in kleilagen in de onverzadigde zone. Voor de Nederlandse situatie wordt, voor de beoordeling van verspreidingsrisico's, een waarde van 30 m per jaar beschouwd als het ruimtelijke gemiddelde van grondwatersnelheden in zandgebieden.

Verweg het grootste deel van de gasleidingen ligt in zandige bodem en, zeker in het oosten van het land, in de onverzadigde zone. In veel gevallen zal dat 'aangebracht zand' betreffen. Er wordt rekening gehouden met stromingssnelheden van water, overwegend in verticale richting, van centimeters tot decimeters per jaar. Uiteindelijk zal het gehele neerslagoverschot, circa 300 mm/jaar in Nederland, infiltreren.

De adsorptie van benzeen, welke in een vertraging van het transport van benzeen resulteert ten opzichte van de stromingssnelheid van het porie- en grondwater, is vrijwel alleen aan organische stof. In aangebracht zand is het organische stofgehalte meestal laag, tussen 0 en 1%. Verder hangt de sorptie af van de dichtheid en het poriegehalte van de bodem of ondergrondmateriaal. Een belangrijke factor voor de verplaatsingssnelheid is of aanwezig organische stof onderdeel uitmaakt van de vaste bodem of in oplossing is in het porie- of grondwater. In het eerste geval leidt sorptie aan organische stof tot vertraging van transport, in het tweede geval loopt benzeen mee met de snelheid van het grondwater.

Benzeen bindt in vergelijking met andere verontreinigingen (zoals PAKs) niet sterk aan organische stof en wordt daarom weinig vertraagd ten opzichte van de stromingssnelheid van grondwater. De logaritme van de partiticoëfficiënt organische stof – water (Koc) ligt voor benzeen vaak in

de range 1 tot 2. Een relatief conservatieve waarde van 1,9 kg_{DG}/L wordt gehanteerd in Steenwijk et al. (1999). Dat betekent dat de Koc gelijk is aan 79 L/kg_{DG}. Uitgaande van een poriegehalte van 0,4, een dichtheid van zand van 2,6 kg_{DG}/L, resulteert dit in een globale vertraging van een factor 1,3 (organisch stofgehalte van 0,1%) tot 7,0 (organisch stofgehalte van 2%) voor de snelheid waarmee benzeen zich door de bodem beweegt ten opzichte van de snelheid van de poriewaterstroming. Als het benzeen de verzadigde zone bereikt, zal het relatief snel door de ondergrond bewegen. Hoe snel hangt sterk af van het ondergrondmateriaal, dat kan variëren van decimeters per jaar in kleigrond (waarbij in sommige gevallen diffusie het belangrijkste proces is) tot honderden meters per jaar in grof zand (met convectief transport met het grondwater als meest relevante proces).

Datum
7 februari 2019

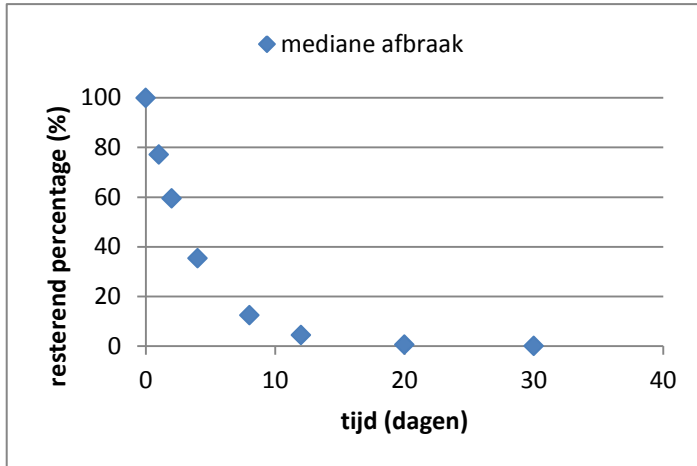
Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

5.2 Afbraak

Afbraak van een organische stof leidt tot verdwijning van de stof. Afbraak kan biologisch en/of chemisch plaatsvinden en is eveneens afhankelijk van de fysisch-chemische condities. Voor biologische afbraak is de redoxpotentiaal en de beschikbaarheid van electronendonoren van belang.

De redoxpotentiaal is een continue veranderende parameter en sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van zuurstof. Deze wordt bijvoorbeeld beïnvloed door een regenbui, waarbij vocht de bodem intrekt en de zuurstof verdringt. Organische stof in de bodem kan als elektronendonor dienen, maar ook benzeen of andere verontreinigingen kunnen die rol vervullen. Als gevolg van de variatie tussen bodems en per bodem in de tijd, varieert de afbraak sterk.

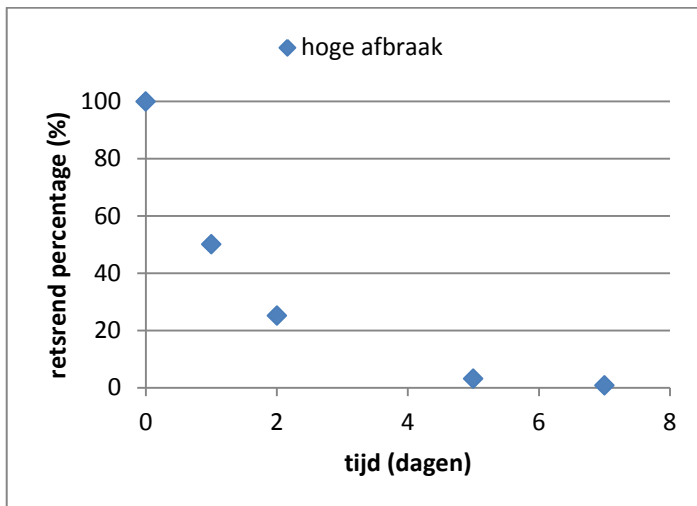
De gasleidingen liggen voornamelijk in zandige bodem, waar aerobe omstandigheden heersen. In Huang (2015) wordt een range afgeleid voor de eerste orde afbraakcoëfficiënten voor benzeen onder aerobe omstandigheden van 0,053 tot 0,69 d⁻¹. De mediane waarde voor de eerste orde afbraakcoëfficiënt voor benzeen onder aerobe omstandigheden is 0,26 d⁻¹. Deze waarden gelden voor alle bodemtypen gecombineerd. Voor (aangebracht) zand in de onverzadigde zone (een zandcunet waar de gasleiding inligt) zal de afbraak in het hogere bereik van deze range liggen, waarschijnlijk met een eerste orde afbraakcoëfficiënt tussen 0,26 en 0,69 d⁻¹. Deze waarden gelden voor een goed doorlucht zandcunet, waarbij het infiltrerende water snel infiltreert en er geen waterlenzen worden opgebouwd. In de figuren 1 en 2 is het verloop van de afbraak in de tijd te zien in een zandcunet rondom een gasleiding voor deze beide waarden voor de afbraakcoëfficiënten: 'mediane afbraak' (afbraakcoëfficiënt = 0,26 d⁻¹) en 'hoge afbraak' (afbraakcoëfficiënt = 0,69 d⁻¹). Globaal is de hoeveelheid benzeen dan teruggebracht tot 1% van de oorspronkelijke hoeveelheid binnen een periode van 7 dagen (hoge afbraak) en 20 dagen (mediane afbraak).



Datum
7 februari 2019

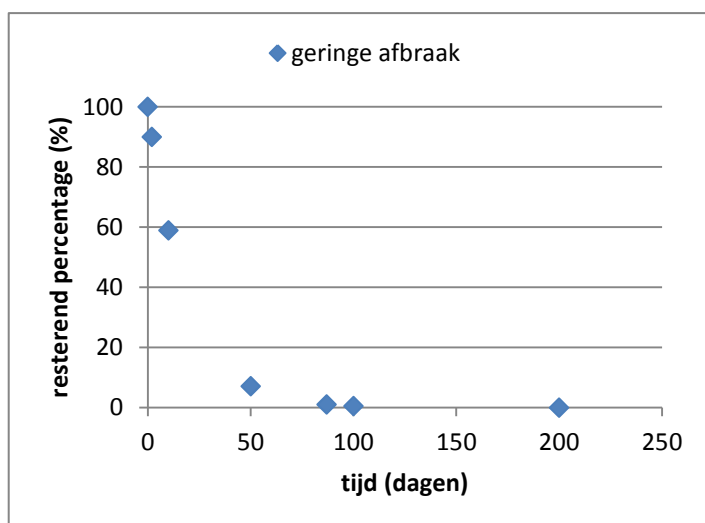
Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

Figuur 1: Mediane afbraak van benzeen in het bodem-watersysteem



Figuur 2: Hoge afbraak van benzeen in het bodem-watersysteem

In geval van sterke benzeenverontreiniging zal de afbraak beduidend langzamer kunnen verlopen. En als er andere, minder doorlatende lagen boven het zandcunet liggen zal de afbraak geringer zijn. In figuur 3 is het verloop van de afbraak in de tijd te zien in minder goede omstandigheden voor afbraak: 'lage afbraak' (afbraakcoëfficiënt = $0,053 \text{ d}^{-1}$). In dat geval is de hoeveelheid benzeen dan globaal teruggebracht tot 1% van de oorspronkelijke hoeveelheid binnen een periode van 87 dagen.



Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Figuur 3: Geringe afbraak van benzeen in het bodem-watersysteem

Er zijn meerdere afbraakschema's voor benzeen mogelijk. De meeste componenten die resulteren zijn onschuldig, zoals H₂O en CO₂. Er kan echter ook fenol worden gevormd, eveneens een stof met toxische eigenschappen.

5.3 Uitdamping van benzeen

Benzeen heeft een dampspanning van rond de 10 kPa en valt onder de categorie vluchtige stoffen. In vergelijking met andere aromatische verontreinigingen is de stof vrij vluchtig.

De vluchtigheid van benzeen is, vergeleken met gechloreerde koolwaterstoffen, gemiddeld: benzeen is vluchtiger dan tetrachlooretheen (per) en de dichloorbenzenen, maar weer minder vluchtig dan trichloormethaan (chloroform) en vinylchloride.

Op basis van het veldonderzoek blijkt dat er geen locaties zijn aangetroffen met gaslekkages onder woningen. In dat geval zal er geen sprake zijn van een mogelijk onderdruk in gebouwen die een aanzuigende werking heeft op benzeendampen in de bodem. Ook is er dan geen sprake van ophoping van benzeen binnen in een huis of ander gebouw. In een zandige bodemlaag in het buitengebied, zonder bebouwing er bovenop, is het drukverschil tussen de bodem in de eerste meter en de atmosfeer gering. Anderzijds is de mogelijkheid voor transport in het zandige pakket waarin de gasleidingen liggen juist weer groot vanwege de hoge doorlaatbaarheid; ondanks een gering drukverschil kan er toch nog een aanzienlijke verplaatsing van benzeen via gasconvectorie naar de oppervlakte plaatsvinden. Dit is bekend van rioolbuizen, qua ligging vergelijkbaar met gasleidingen, waarbij vaak gastransport via preferente banen optreedt (McAlary et al., 2011). In geval van een sterk fluctuerende waterspiegel kan er ook versneld transport van benzeen naar de oppervlakte plaatsvinden. In veel gevallen zal diffusie, oftewel transport ten gevolge van een gradiënt in de concentratie van benzeen tussen de bodem en de atmosfeer, het voornaamste proces zijn (McAlary et al., 2011). Er zal door gasconvectorie en diffusie een zekere aanvoer van benzeen naar de atmosfeer zijn waardoor de kwaliteit van de directe

leefomgeving kan worden beïnvloed, maar er vindt in de buitenlucht ook sterke verdunning plaats. De gezondheidsrisico's voor passanten worden in dit rapport beoordeeld.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

5.4 Conclusie

In de praktijk zullen de drie genoemde processen (verspreiding, afbraak en uitdamping) gecombineerd optreden. Benzeen zal zich neerwaarts verplaatsen, richting grondwater, en, qua hoeveelheid, in mindere mate opwaarts naar de atmosfeer. Tijdens deze beide processen wordt benzeen afgebroken. De gecombineerde impact van de drie processen zal sterk per locatie verschillen. Deze impact, bijvoorbeeld uitgedrukt als concentraties in poriewater, grondwater en/of atmosfeer op een bepaald tijdstip, wordt door veel lokale factoren bepaald en kan alleen met behulp van locatie specifiek onderzoek en met behulp van numerieke modellen worden gekwantificeerd.

In aanmerking genomen dat de omvang van de onderzochte locaties zeer klein is (minder dan 10 m³) is nader onderzoek, in aanmerking genomen de lage blootstelling aan benzeen van omwonenden en passanten, niet direct noodzakelijk.

Is het echter gewenst om meer zekerheid te krijgen over de mogelijke omvang van de verontreiniging, bijvoorbeeld voor toekomstige gevallen, dan kan de mogelijkheid worden onderzocht van een modelmatige benadering waarmee de omvang van een verontreinigde kan worden ingeschat op basis van:

- 1) Geschatte grootte van de bron: vracht per tijdseenheid
- 2) Tijdsduur van de lekkage: tijd
- 3) De uitdamping (verlies aan vracht) naar de atmosfeer
- 4) De afbraaksnelheid
- 5) De verspreiding naar het grondwater

Uit een analyse van de beschikbare veldgegevens blijkt dat de omvang van de verontreinigde locaties zeer beperkt is. Volgens de regelgeving voor de aanpak van historische bodemverontreiniging onder de Wbb (circulaire bodemsanering, 2013) is er geen sprake van een ernstig geval van bodemverontreiniging omdat het omvangscriterium niet wordt overschreden. Hierdoor is er geen sprake van potentiële risico's (in de zin van de Wbb) voor mens of milieu.

Om grip te krijgen op de mogelijke gezondheidsrisico's voor de algemene bevolking zijn twee risicogrenswaarden afgeleid voor situaties als rondom kleine gaslekken in de openbare ruimte. Het blootstellingsscenario is gebaseerd op de gegevens uit het veldonderzoek. Daarnaast is uitgegaan van een vrij intensief gebruik van de openbare ruimte en wordt aangenomen dat de verontreiniging zich niet heeft verplaatst onder woningen. De geringe omvang van de aangetroffen verontreiniging maakt verspreiding van een substantiële vracht niet waarschijnlijk.

Uit het veldonderzoek (Bloemen, 2018 en Thomasson en Pieters, 2018) blijkt dat de maximaal aangetroffen concentratie aan benzeen (3,1 mg/kg) en de 95 percentiel waarde van locaties waar verontreiniging is aangetroffen (1,55 mg/kg) een factor 4 tot 8 lager liggen dan de berekende risicogrenswaarden (paragraaf 4.7).

Vervolgens is berekend wat de belangrijkste blootstellingsroutes zijn. Daaruit blijkt dat de blootstelling door contact met verontreinigde grond (ingestie en dermale opname) verwaarloosbaar zijn. De berekende blootstelling is daarbij nog een overschatting omdat in veel situaties de grond afgedekt zal zijn of weinig aantrekkelijk voor bijvoorbeeld spelende kinderen (wegbermen). Daarnaast wordt uitgegaan van een levenslange blootstelling welke in werkelijkheid niet zal optreden.

De blootstelling via inhalatie van buitenlucht is heel laag. De berekende totale blootstelling ligt veel lager dan het MTR. De geschatte buitenlucht concentratie ligt onder de wettelijke grenswaarde lucht van benzeen van 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Daarbij wordt opgemerkt dat door de kleine omvang van de verontreinigde locaties de berekende luchtconcentraties door verdunning/verwaaiing in de praktijk vermoedelijk niet zullen voorkomen.

De blootstelling via drinkwater (benzeen kan door de wand van een (polyethyleen (PE) drinkwaterleiding dringen) is een punt van aandacht. Bij de risicobeoordeling is aangenomen dat een PE drinkwaterleiding zich over een lengte van 10 m in een gebied bevindt van drie maal de Interventiewaarde (de maximaal gemeten waarde). Onder die omstandigheden is aantasting van de drinkwaterkwaliteit niet uitgesloten. De blootstelling via drinkwater blijft evenwel ver onder het maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR).

In de situatie dat een PE drinkwaterleiding in contact staat met een aanwezige benzeenverontreiniging, kan op voorhand niet worden niet uitgesloten dat de drinkwaterkwaliteit tijdelijk (bijvoorbeeld na een langere periode van stagnatie, stilstaand drinkwater) niet voldoet aan de normen uit het drinkwaterbesluit.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Een aandachtspunt is de omvang van het verontreinigd gebied en de directe aanwezigheid van drinkwaterleidingen.

Indien de lekkage heeft geleid tot een grote verspreiding en een grote omvang van de verontreinigde locatie bestaat de mogelijkheid dat benzeen zich verspreid onder woningen en kan de drinkwaterkwaliteit worden aangetast indien PE drinkwaterleidingen in contact staat met verontreinigde grond.

De metingen van het aanvullen bodemonderzoek (Thomasson, W. en Pieters, T., 2018) wijzen niet op het voorkomen van dergelijke situaties maar sluiten dit niet volledig uit. In paragraaf 5.4 wordt ingegaan op het gedrag van benzeen en de mogelijkheden om de omvang van (toekomstige) verontreinigingen in te schatten.

Referenties toxicologie benzeen (Hoofdstuk 3)

ATSDR (2007) Toxicological Profile for Benzene August 2007. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=40&tid=14> (Geraadpleegd op 03-04-2019)

ATSDR (2015) Addendum to the toxicological profile for benzene. June 2015. https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/Benzene_Addendum.pdf (Geraadpleegd op 03-04-2019)

EU (1998) Council Directive on ambient air quality assessment and management - Working group on benzene - Position paper September 1998. <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/ppbenzene.pdf> (Geraadpleegd op 03-02-2019)

EU (2008) DIRECTIVE 2008/50/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 May 2008. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en> (Geraadpleegd op 03-02-2019)

EU-RAR (2008) European Union Risk Assessment Report – BENZENE. Final version 2008. <https://echa.europa.eu/documents/10162/be2a96a7-40f6-40d7-81e5-b8c3f948efc2> (Geraadpleegd op 03-02-2019)

Gezondheidsraad (2014) Benzene Health-based recommended occupational exposure limit. Dutch Expert Committee on Occupational Safety, a Committee of the Health Council of the Netherlands.

IARC (2018) IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans – volume 120 Benzene.

McHale CM, Zhang L, Smith MT (2012) Current understanding of the mechanism of benzene-induced leukemia in humans: implications for risk assessment. *Carcinogenesis* **33**(2):240-52.

RAC (2018) Committee for Risk Assessment (RAC) - Opinion on scientific evaluation of occupational exposure limits for Benzene ECHA/RAC/ O-000000-1412-86-187/F. Adopted 9 March 2018. https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/benzene_opinion_en.pdf/4fec9aac-9ed5-2aae-7b70-5226705358c7 (Geraadpleegd op 03-02-2019)

RIVM (1993) Voorstel voor de humaan-toxicologische onderbouwing van C- (toetsings)-waarden. [Addendum op RIVM rapport nr. 725201005] RIVM rapport nr. 715801001.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

RIVM (2001) Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM rapport nr. 711701025.

RIVM (2011) Exposure and potential health effects associated with the use of PX-10 in the Dutch Armed Forces. RIVM Rapport nr. 609037002/2011.

RIVM (2013) Risk assessment of an increased concentration limit of benzene in natural gas. RIVM Letter report nr. 601352002/2013.

US-EPA (2003) Integrated Risk Information System (IRIS) U.S. Environmental Protection Agency Chemical Assessment Summary – Benzene CASRN 71-43-2. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0276_summary.pdf (Geraadpleegd op 03-02-2019)

WHO (2010) WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants: Benzene. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138708/> (Geraadpleegd op 03-02-2019)

Referenties risicobeoordeling en gedrag van benzeen (Hoofdstuk 4 en 5)

Bloemen, J.C.G. (2018). Feitenrapportage. Onderzoek naar benzeenverontreiniging nabij gaslekages. Anteagroup, 6 november 2018.

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.

Circulaire streef- en Interventiewaarden, (2013) -geldig op 1februari 2019. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0033592/2013-07-01>

Hung, S. (2015). Getting Grip on Bio-degradation of Groundwater Contaminants. Towards a better risk assessment tool for groundwater contamination, Masterscriptie Wageningen University and Research, Vakgroep Environmental Technology, 23 juli 2015.

Kesteren, van P.C.E. et al (2013) Risk assessment of an increased concentration limit of benzene in natural gas. RIVM report 601352002/2013. RIVM.

McAlary, Todd A., Jeroen Provoost, and Helen E. Dawson. Vapor Intrusion. Hoofdstuk 10 in: F.A. Swartjes (ed.), Dealing with Contaminated Sites, 409, DOI 10.1007/978-90-481-9757-6_10, Springer Science+Business Media B.V. 2011.

Netbeheer Nederland (2018-a). Brief: Langdurige kleine gaslekken. Kenmerk BR-2018-1528 van 24 september 2018. Den Haag.

Datum

7 februari 2019

Netbeheer Nederland (2018-b). Brief: Stand van zaken langdurige kleine gaslekken. Kenmerk BR-2018-1546 van 7 november 2018. Den Haag.

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

Otte, P.F.; M.L. van der Schans; M.A. Meerkerk; F.A. Swartjes (2016). Permeatie van contaminanten vanuit grondwater door polyethyleen drinkwaterleidingen. Methodiek voor de beoordeling van risico's voor de drinkwaterkwaliteit. RIVM-rapport 2016-0107. RIVM, KWR Watercycle Research Institute.

Steenwijk, J.M. van, G. Cornelissen, Th.E.M. Ten Hulscher (1999). Omgaan met verdelingscoëfficiënten voor organische verbindingen. Variaties op een Constante sorptie-onderzoek RWS/RIZA 1994 – 1999, RIZA Nota nr. 99.023/ AKWA Nota nr. 99.004, september 1999.

Thomasson, W. en Pieters, T. (2018). Aanvullend bodemonderzoek. Bodemverontreiniging met benzeen als gevolg van niet acute gaslekken binnen het beheersgebied van Liander. Stantec, 14 november 2018.

Bijlage: Resultaten modellering blootstelling en risico's

Datum
7 februari 2019

Ons kenmerk
028/2019 DMG/BL/PO

Gezondheidskundige risicogrenswaarde voor situaties nabij kleine gaslekken.

naam gebruiker	RIVM/DMG/DDB		datum	1 feb 2019
model	CSOIL		versie	1.0
contaminant	benzene		CASnr.	71-43-2
Bodemgebruik	wonen		considered receptor	levenslang gemidd
opmerkingen	Studie benzeen nabij kleine gaslekken Gezondheidskundige risicogrenswaarde voor situaties nabij kleine gaslekken			

HUMANE RISICO GRENSWAARDEN

SRC humaan	12,970			
risico index	1,00 (levenslang gemiddeld)			
bodemgehalte	1,297E+01 mg/kg ds			
C gw-max	1,04E+02 ug/dm3			

BIJDRAGE BLOOTSTELLINGSROUTES KIND, VOLWASSENE, LEVENSLANG GEMIDDELDE

in mg/kg l.g. *d					
	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	8,65E-05	2,66E-07	5,30E-06	2,03E-07	n.v.t.
volwassene	9,26E-06	8,33E-08	1,01E-06	1,16E-07	n.v.t.
levenslang gemidd	1,59E-05	9,89E-08	1,38E-06	1,23E-07	n.v.t.
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	3,61E-04	n.v.t.	4,86E-03	9,29E-04	1,38E-03
volwassene	4,03E-05	n.v.t.	2,08E-03	5,24E-04	5,59E-04
levenslang gemidd	6,78E-05	n.v.t.	2,32E-03	5,59E-04	6,29E-04

PROCENTUELE BIJDRAGE BLOOTSTELLINGSROUTES KIND, VOLWASSENE, LEVENSLANG

in %					
	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	1,14%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%
volwassene	0,29%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%
levenslang gemidd	0,44%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	4,74%	0,00%	63,77%	12,20%	18,08%
volwassene	1,25%	0,00%	64,74%	16,29%	17,39%
levenslang gemidd	1,89%	0,00%	64,56%	15,55%	17,51%

CONCENTRATIES IN RELEVANTE MILIEUCOMPARTIMENTEN

bodem (mg/kg ds)	1,30E+01	(an)organisch C plan	n.v.t.	binnenlucht (mg/m3)	n.v.t.
poriewater (mg/dm3)	1,14E+01	(an)organisch C plan	n.v.t.	kruipruimte (mg/m3)	n.v.t.
porielucht (mg/dm3)	1,81E+00	(an)organisch C plan	-	buitenlucht kind (mg/m3)	5,98E-03
		(an)organisch C plan	-	buitenlucht volw (mg/m3)	2,97E-03

Blootstelling van benzeen nabij kleine gaslekken (kind, volwassene en levenslang gemiddeld) bij een bodemgehalte van 3,1 mg/kg.

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

naam gebruiker	RIVM			datum	1 feb 2019
model	CSOIL			versie	
bestandsnaam					
contaminant	benzene			CASnr.	62037-80-3
Bodemgebruik	wonen			considered receptor	levenslang gemiddel
opmerkingen	Blootstelling van benzeen nabij kleine gaslekken (kind, volwassene en levenslang gemiddeld) bodemgehalte benzeen is gelijk aan de maximaal aangetroffen waarde (3,1,mg/kg)				

HUMANE RISICO GRENSWAARDEN		mg/kg	ug/kg
SRC humaan	0,0031000 g/kg	3,1	3100
risico index	0,0271 (levenslang gemiddeld)		
bodemgehalte	0,0031000 g/kg		
C gw-max	1,04E-01 ug/dm3		

BIJDRAGE BLOOTSTELLINGSROUTES KIND, VOLWASSENE, LEVENSLANG GEMIDDELDE

in g/kg l.g. *d	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	2,06667E-08	6,34682E-11	1,26606E-09	4,85667E-11	n.v.t.
volwassene	2,21429E-09	1,99005E-11	2,41385E-10	2,76786E-11	n.v.t.
levenslang gemid	3,79592E-09	2,36349E-11	3,29215E-10	2,9469E-11	n.v.t.
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	8,63367E-08	n.v.t.	1,16104E-07	2,22073E-08	3,29103E-08
volwassene	9,64339E-09	n.v.t.	4,97588E-08	1,25229E-08	1,33621E-08
levenslang gemid	1,62171E-08	n.v.t.	5,54455E-08	1,3353E-08	1,50376E-08

PROCENTUELE BIJDRAGE BLOOTSTELLINGSROUTES KIND, VOLWASSENE, LEVENSLANG

in %	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	7,39%	0,02%	0,45%	0,02%	n.v.t.
volwassene	2,52%	0,02%	0,27%	0,03%	n.v.t.
levenslang gemid	3,64%	0,02%	0,32%	0,03%	n.v.t.
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	30,88%	n.v.t.	41,52%	7,94%	11,77%
volwassene	10,98%	n.v.t.	56,68%	14,26%	15,22%
levenslang gemid	15,56%	n.v.t.	53,19%	12,81%	14,43%

CONCENTRATIES IN RELEVANTE MILIEUCOMPARTIMENTEN

bodem (mg/kg ds)	3,1	drinkwater in mg/L	1,74E-03	binnenlucht (mg/m3)	n.v.t.
poriewater (mg/dr)	2,73E+00			kruipruimte (mg/m3)	n.v.t.
porielucht (mg/dr)	4,33E-01	C-blad (mg/kg vers)	n.v.t.	buitenlucht kind (mg/m3)	1,43E-03
		C-knol/aardappel (mg/kg v)	n.v.t.	buitenlucht volw mg/m3)	7,11E-04

Blootstelling van benzeen nabij kleine gaslekken (kind, volwassene en levenslang gemiddeld) bij een bodemgehalte van 1,55 mg/kg (de 95 percentielwaarde van de aangetroffen benzeen in verontreinigde grond).

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

naam gebruiker	Gebruiker	datum	1 feb 2019
model	CSOIL	versie	
bestandsnaam			
contaminant	benzene	CASnr.	62037-80-3
Bodemgebruik	wonen	considered receptor	levenslang gemiddeld
opmerkingen	Blootstelling van benzeen nabij kleine gaslekken (kind, volwassene en levenslang gemiddeld) bij een bodemgehalte van 1,55 mg/kg (95P waarde)		

HUMANE RISICO GRENSWAARDEN		mg/kg	ug/kg
SRC humaan risico index	0,0015500 g/kg	1,55	1550
	0,0135 (levenslang gemiddeld)		
bodemgehalte C gw-max	0,0015500 g/kg		
	1,04E-01 ug/dm3		

BIJDRAGE BLOOTSTELLINGSROUTES KIND, VOLWASSENE, LEVENSLANG GEMIDDELDE					
in g/kg l.g. *d	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	1,03333E-08	3,17341E-11	6,33032E-10	2,42833E-11	n.v.t.
volwassene	1,10714E-09	9,95026E-12	1,20692E-10	1,38393E-11	n.v.t.
levenslang gemiddeld	1,89796E-09	1,18174E-11	1,64607E-10	1,47345E-11	n.v.t.
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	4,31683E-08	n.v.t.	5,8052E-08	1,11036E-08	1,64552E-08
volwassene	4,82169E-09	n.v.t.	2,48794E-08	6,26145E-09	6,68104E-09
levenslang gemiddeld	8,10855E-09	n.v.t.	2,77228E-08	6,6765E-09	7,51882E-09

PROCENTUELE BIJDRAGE BLOOTSTELLINGSROUTES KIND, VOLWASSENE, LEVENSLANG					
in %	ingestie grond	dermale opname binnen grond	dermale opname buiten grond	inhalatie grond	inhalatie binnenlucht
kind	7,39%	0,02%	0,45%	0,02%	0,00%
volwassene	2,52%	0,02%	0,27%	0,03%	0,00%
levenslang gemiddeld	3,64%	0,02%	0,32%	0,03%	0,00%
	inhalatie buitenlucht	consumptie gewas eigen tuin	consumptie drinkwater	inhalatie damp douchen	dermale opname baden
kind	30,88%	0,00%	41,52%	7,94%	11,77%
volwassene	10,98%	0,00%	56,68%	14,26%	15,22%
levenslang gemiddeld	15,56%	0,00%	53,19%	12,81%	14,43%

CONCENTRATIES IN RELEVANTE MILIEUCOMPARTIMENTEN					
bodem (mg/kg ds)	1,55	drinkwater in mg/L	8,71E-04	binnenlucht (mg/m3)	n.v.t.
poriewater (mg/dm3)	1,36E+00			kruipruimte (mg/m3)	n.v.t.
porielucht (mg/dm3)	2,16E-01	C-blad (mg/kg vers)	n.v.t.	buitenlucht kind (mg/m3)	7,15E-04
		C-knol/aardappel (m	n.v.t.	buitenlucht volw mg/m3)	3,55E-04

Invoergegevens modellering blootstelling

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

INVOER GEGEVENS				
beschrijving	symbool	waarde	eenheid	
type stof	0	organische contaminant		
stofspectifieke parameters				
molmassa	M	78,11	[g/mol]	
wateroplosbaarheid	S	1,99E+03	[mg/dm ³]	
dampdruk zuivere stof	Vp	9,51E+03	[Pa]	
octanol-water verdelingscoëfficiënt	log Kow	2,13E+00	[-]	
organisch koolstof gecorrigeerde verdeling	log Koc	1,87E+00	[dm ³ /kg]	
permeatie coëfficiënt pe waterleiding	Dpe	1,40E-06	[m ² /d]	
partiticoëfficiënt metalen	log Kp (metaal)	n.v.t.	[dm ³ /kg]	
zuurdissociatieconstante	pKa	n.v.t.	[-]	
fractie niet gedissocieerde stof	fnd	1,00E+00	[-]	
bcf metalen (groenten)			[(mg/kg d.g) / (mg/kg d.g.)]	
bcf metalen (aardappel)			[(mg/kg d.g) / (mg/kg d.g.)]	
bcf organische stoffen (blad)	BCF_L_ers	3,39E-08	[(mg/kg v.g) / (mg/kg)]	
bcf organische stoffen (wortel)	BCF_R_ers	9,56E-04	[(mg/kg v.g) / (mg/kg)]	
CRITERIA GEZONDHEIDSRISICO				
beschrijving	symbool	waarde	eenheid	
maximaal toelaatbaar risiconiveau mens	MTR	3,30E-03	[mg/(kg l.g. d)]	
toelaatbare concentratie lucht	TCL	2,00E-05	[mg/m ³]	
tdi inhalatoir kind	MTR_LC		[mg/(kg l.g. d)]	
tdi inhalatoir volwassene	MTR_LA		[mg/(kg l.g. d)]	
LOCATIE SPECIFIEKE GEGEVENS				
beschrijving	symbool	waarde	eenheid	
bodemgehalte	CS	1,55E+00	[mg/kg d.w.]	P95 waarde
bodemtemperatuur	T	283	[K]	
volume lucht fractie in bodem	Va	0,20	[-]	bodemtype zandig
volume water fractie in bodem	Vw	0,30	[-]	
volume vaste fractie in bodem	Vs	0,50	[-]	
fractie organische koolstof	foc	0,0116	[-]	2% organisch stof
lutum gehalte	L	-	[%]	n.v.t.
pH	pH	6,00	[-]	
bulkdichtheid droge grond	SD	1200,00	[kg/dm ³]	

Model parameter waarden

Datum

7 februari 2019

Ons kenmerk

028/2019 DMG/BL/PO

beschrijving	symbool	waarde	eenheid	
gasconstante	R	8,31	[Pa.m3/mol.k]	
grenslaagdikte	d	0,01	[m]	
diepte verontreiniging to.v maaiveld	dp	0,50	[m]	gelijk aan minimum
ventilatievoud kruipruimte	Vv	1,10	[1/h]	n.v.t.
hoogte kruipruimte	Bh	0,50	[m]	n.v.t.
bijdrage kruipruimte lucht aan binnenlucht	fbi	0,10	[-]	n.v.t.
diameter verontr. gebied	Lp	10	[m]	contactlengte PE-L
verhouding droog/vers aardappelen of knolgewas	fdwr	0,167	[-]	
verhouding droog/vers bladgroente	fdws	0,098	[-]	
depositie constante	dpconst	1,00E-02	[-]	
fractie grond in stof binnen	frsi	0,80	[-]	
fractie grond in stof buiten	frso	0,50	[-]	
verduunningsfactor poriewater - grondwater	fdil	1,00	[-]	
temperatuur badwater	Tsh	313	[K]	
drinkwaterconstante	dwconst	45,60	[-]	
fractie blootgestelde huid douchen	fexp	4,00E-01	[-]	
retentiefactor deeltjes in longen	fr	7,50E-01	[-]	
relatieve absorptiefactor algemeen (excl)	Fa	1,00E+00	[-]	
relatieve absorptiefactor grond	Fag	1,00E+00	[-]	
matrixfactor dermale absorptie	fm	1,50E-01	[-]	
douchetijd per keer	tdc	2,50E-01	[h/d]	
verblijf in badkamer	td	5,00E-01	[h]	
type waterleiding	waterl	1,00E+00	code 1 = PE / code 0 = metaal	
fractie verontreinigde aardappel of knolgewas	Fvk	0,00E+00	[-]	
fractie verontreinigd bladgewas	Fvb	0,00E+00	[-]	

beschrijving	symbool	waarde voor kind	waarde voor volw.	eenheid
lichaamsgewicht	BWc,a	1,50E+01	7,00E+01	[kg]
dagelijkse inname grond	AlDc,a	1,00E-04	5,00E-05	[kg ds/d]
gewasconsumptie aardappelen of knolgewas	Qk'c,a	5,95E-02	1,22E-01	[kg vg/d]
gewasconsumptie bladgroente	Qb'c,a	5,83E-02	1,39E-01	[kg vg/d]
drinkwaterconsumptie	Qdw,c,a	1,00E+00	2,00E+00	[dm3/d]
geinhaleerde bodem deeltjes	ITSPc,a	3,13E-07	8,33E-07	[kg/d]
verblijftijd binnen (jaargemiddeld per dag)	Tiic,a	0,00E+00	0,00E+00	[h]
verblijftijd buiten (jaargemiddeld per dag)	Tioc,a	2,86E+00	1,14E+00	[h]
ademvolume	Avc,a	3,17E-01	8,33E-01	[m3/h]
oppervlak lichaam	Atotc,a	9,50E-01	1,80E+00	[m2]
blootgesteld oppervlak binnen	Aexpci,a	5,00E-02	9,00E-02	[m2]
blootgesteld oppervlak buiten	Aexpco,ao	2,80E-01	1,70E-01	[m2]
bedekkingsgraad huid binnen	DAEci,ai	5,60E-04	5,60E-04	[kg/m2]
bedekkingsgraad huid buiten	DAEco,ao	5,10E-03	3,75E-02	[kg/m2]
dermale absorptiesnelheid	DARc,a	1,00E-02	5,00E-03	[1/h]
tijd blootstelling contact grond binnen	Tbci,ai	9,14E+00	1,49E+01	[h/d]
tijd blootstelling contact grond buiten	Tbco,ao	2,86E+00	1,14E+00	[h/d]
verduunningsnelheid	Vfc,a	1,61E+02	3,25E+02	[m/h]