

Plan van aanpak en saneringsonderzoek: voorkomen en saneren van benzeen- verontreiniging in de bodem t.g.v. gaslekken

Hoe komen netbeheerders tot een goede invulling van het
zorgplichtbeginsel?

Versie	1.0
Datum	20 december 2019
Opdrachtgever	Netbeheer Nederland
Projectleider	Gabri Dekkers (Alliander)
Auteur(s)	Matthijs Jager (Stedin), Tim Verstegen (Enexis), Gabri Dekkers (Alliander)
Verspreidingslijst	Nader te bepalen

Versielog	Versielog	Datum	Auteur	Opmerking
	0.9	6 september 2019	Zie <i>auteur(s)</i>	Draft voor consultatie adviesbureau
	0.91	20 september 2019	Zie <i>auteur(s)</i>	Aangepast op basis van opmerkingen adviesbureau
	0.92	9 oktober 2019	Zie <i>auteur(s)</i>	Aangepast n.a.v. feedback Stuurgroep
	1.0	20 december 2019	Zie <i>auteur(s)</i>	Aangepast n.a.v. feedback vertegenwoordiging bevoegd gezag

Inhoud

1	Inleiding.....	2
1.1	Aanleiding	2
1.2	Probleemstelling.....	2
1.3	Beoogd resultaat	2
1.4	Looptijd plan van aanpak en saneringsonderzoek	2
1.5	Leeswijzer	3
2	Verontreinigingssituatie en risico bij gaslekken	4
2.1	Verontreinigingen nabij gaslekken	4
2.2	Risico's van de bodemverontreinigingen	5
2.2.1	Risico voor omgeving RIVM.....	5
2.2.2	Risico voor drinkwater.....	5
3	Hoofdlijn beperken of voorkomen van verontreiniging (plan van aanpak)	6
3.1	Introductie	6
3.2	Beperken of voorkomen van verontreiniging.....	6
3.2.1	Monitoring concentraties benzeen in aardgas	6
3.2.2	Pilot hogere frequentie gaslekzoeken	6
3.2.3	Omvang (lekdebiet) gaslek	7
4	Hoofdlijn saneringsonderzoek voor saneren benzeenverontreiniging	8
4.1	Introductie	8
4.2	Vraagstelling	8
4.3	Hypothesen	8
4.4	Uitgangspunten	9
4.5	Terugsaneerwaarde	9
4.6	Scope en steekproef	9
4.6.1	Scope.....	9
4.6.2	Steekproef.....	9
4.7	Maatwerk & Fall-back.....	11
4.7.1	Maatwerk locaties	11
4.7.2	Fall-back scenario.....	11
4.8	Proces en fasering saneringsonderzoek.....	11
4.9	Communicatie	13
4.9.1	Bevoegd gezag	13
4.9.2	Andere stakeholders	13
	Bijlage 1: Samenvatting bodemonderzoeken verontreiniging door langdurige gaslekken	15

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het distributienetwerk voor aardgas in Nederland heeft een lengte van ca. 136.000 kilometer. Bij het beheer van dit gasnet is het onvermijdelijk dat kleine gaslekken ontstaan ten gevolge van bijvoorbeeld de werking van en trillingen in de grond en wisselende grondwaterstanden. Jaarlijks is sprake van ongeveer 5.000 gaslekken (Netbeheer Nederland, 2018). In afstemming met toezichthouder Staatstoezicht op de Mijnen hanteren de netbeheerders een landelijk protocol voor het inventariseren (lekzoeken) en repareren van gaslekken (Netbeheer Nederland, 2012).

Benzeen is één van de natuurlijke bestanddelen van aardgas en kan bij langdurige blootstelling kankerverwekkend zijn (RIVM, 2013). Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat deze gaslekken in het distributiesysteem kunnen leiden tot een bodemverontreiniging met benzeen (Antea Group, 6 november 2018) (KIWA, 24 september 2018) (KIWA, 13 maart 2018). Benzeen in de bodem ten gevolge van gaslekken is normaliter te beschouwen als een nieuwe geval van bodemverontreiniging (Rijksoverheid, 2019).

Bodemverontreiniging met benzeen kan risico's met zich meebrengen. Mensen die graven in de verontreinigde grond kunnen worden blootgesteld aan benzeen en benzeen zou een bedreiging kunnen vormen voor het milieu en de omgeving. Na de ontdekking dat bij langdurige gaslekken de bodem verontreinigd wordt met benzeen, heeft Netbeheer Nederland, de brancheorganisatie van de netbeheerders, onderzoeken gestart om de risico's in kaart te brengen. Die onderzoeken dienen om belanghebbenden te informeren, de ernst en omvang van verontreiniging vast te stellen en om adequate maatregelen te nemen om de risico's te beheersen.

1.2 Probleemstelling

Netbeheerders hebben een zorgplicht. Dat houdt in dat zij adequate maatregelen moeten nemen om het ontstaan van nieuwe gevallen van bodemverontreiniging zoveel mogelijk voorkomen. Maar ook zouden netbeheerders de gevolgen van verontreinigingen moeten wegnemen. De omvang van de gemiddelde verontreiniging is gering. De risico's voor het milieu en de omgeving zijn klein. De impact van een traditionele sanering, door grond uit te nemen, is groot voor de omgeving en brengt risico's met zich mee. Het is daarom vooralsnog onduidelijk op welke manier het best invulling gegeven kan worden aan het zorgplichtbeginsel uit de Wet Bodembescherming.

1.3 Beoogd resultaat

In lijn met de zorgplicht moet de uitvoering van onderhavige plan leiden tot:

- 1) Inzichten zodanig dat het ontstaan van benzeenverontreiniging bij gaslekken in de toekomst kunnen worden voorkomen of beperkt (plan van aanpak);
- 2) In deze onderzoeksfase vaststellen dat (natuurlijke) afname een valide saneringstechniek is om de gevolgen van benzeen in grond en grondwater weg te nemen (saneringsonderzoek).

Een eenduidige toepassing door alle netbeheerders moet, na afronding van deze onderzoeksfase, leiden tot vastgestelde en een breed gedragen saneringsaanpak in heel Nederland.

1.4 Looptijd plan van aanpak en saneringsonderzoek

Dit plan heeft een voorziene looptijd van 2019 tot ca. 2022. Op basis van de tussentijdse resultaten wordt het plan van aanpak en/of het saneringsonderzoek aangepast.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de aard en omvang van benzeenverontreiniging ten gevolge van gaslekken geschetst op basis van recent uitgevoerde bodemonderzoeken. De netbeheerders hanteren het uitgangspunt dat die verontreinigingen onder de zorgplicht van de Wet bodembescherming (Wbb) vallen. Zorgplicht heeft betrekking op het voorkomen van verontreiniging én, als verontreiniging is opgetreden, op het beperken en zoveel mogelijk ongedaan maken van de verontreiniging en de directe gevolgen daarvan. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het acties om benzeenverontreiniging te voorkomen of te beperken. In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op het saneringsonderzoek dat moet leiden tot een aanpak om de benzeenverontreinigingen te verwijderen of de gevolgen te beperken.

In bijlage 1 worden de relevante onderzoeksresultaten, die tot op heden zijn uitgevoerd, nader uiteengezet.

2 Verontreinigingssituatie en risico bij gaslekken

2.1 Verontreinigingen nabij gaslekken

Grondverontreiniging

In september en oktober 2018 (onderzoeksfase 1) is de grond boven de gasleiding onderzocht op de aanwezigheid van benzeen. Hieruit bleek (Antea Group, 6 november 2018) dat de grond in ca. 36% verontreinigd was met benzeen, boven de achtergrondwaarde (>AW).

In onderzoeksfase 3 (februari tot mei 2019) zijn de verontreinigingen in de grond op 17 locaties volledig gekarteerd. De omvang van de verontreiniging op deze locaties is gemiddeld ca. 10 m³ (95 percentiel ca. 20 m³). Ook is aanvullend onderzoek gedaan op de locaties uit fase 1 waar boven de gasleiding geen verontreiniging was aangetroffen. In ca. 70% van de gevallen is onder de gasleiding alsnog benzeen aangetroffen.

Op basis van de beschikbare onderzoeken kan worden verwacht dat in ca. 80% van de gaslekken de bodem verontreinigd is met benzeen. In de helft van de gevallen is dit een sterke verontreiniging (groter dan de interventiewaarde 'I' van 1,1 mg/kg d.s.). De maximaal gemeten concentraties en gecorrigeerde concentraties benzeen in de grond bedragen respectievelijk 3,1 mg/kg d.s. en 13 mg/kg d.s. (>I).

In bijlage 1 is een samenvatting opgenomen van de bodemonderzoeken naar benzeenverontreiniging als gevolg van sluimerende gaslekken. Een en ander is reeds gedeeld door Netbeheer Nederland in haar brief van 13 augustus jl. (Netbeheer Nederland, 2019).

Grondwaterverontreiniging

In de onderzoeksfases 2 en 3 is het grondwater op 16 locaties onderzocht. In ca. 60% van de locaties is benzeen in het grondwater aangetroffen, waarvan in ca. 20% sprake is van een sterke grondwaterverontreiniging met benzeen (>I).

De omvang van de grondwaterverontreinigingen is nog niet bepaald.

Bodemluchtmetingen

In onderzoeksfase 1 zijn verschillende locatie specifieke kenmerken en bodemluchtmetingen geregistreerd (zoals VOC, benzeen, aardgasleiding, grondkenmerken). KIWA (KIWA, 29 oktober 2018), Antea Group (Antea Group, 6 november 2018) en Liander (Liander, 2019) hebben, onafhankelijk van elkaar, geconcludeerd dat vooralsnog geen sterke patronen en doorslaggevende factoren te herkennen zijn. Bodemkenmerken of resultaten van bodemluchtmetingen hebben (nog) geen voorspellende waarde voor de te verwachten benzeenverontreiniging.

Monitoring afname benzeenconcentratie(natuurlijke) afname

In juli en augustus 2019 is de bodem van 13 van de eerder onderzochte locaties opnieuw onderzocht. Doel was om een beeld te krijgen van de afname van de concentratie in de bodem. Het resultaat van dat onderzoek is dat op 11 van de 13 locaties nagenoeg geen tot helemaal geen benzeen in de grond en het grondwater meer is aangetroffen na 6 tot 10 maanden tijd na reparatie van het gaslek. Op de andere 2 locaties is ook sprake van verlaagde concentraties, maar was ter plaatse sprake van hoge aanvangsconcentraties of versturende factoren. De eerste signalen zijn positief en duiden erop dat binnen afzienbare tijd een aanzienlijke afname van de concentratie benzeen in de bodem plaats heeft gevonden. Deze afname is waarschijnlijk het gevolg van een combinatie van factoren (zoals beluchting, verdamping, afbraak en/of uitspoeling). Gaslekreparatie voorkomt verdere verontreiniging van de bodem en lijkt aan de basis te staan van een natuurlijke afname van benzeen in de bodem rondom het gerepareerde gaslek.

2.2 Risico's van de bodemverontreinigingen

2.2.1 Risico voor omgeving RIVM

Op basis van de gegevens van onderzoeksfase 1 en 2 heeft het RIVM de risico's voor de omgeving geanalyseerd. Het RIVM heeft voor dit onderzoek een deskstudie en veldwerk gedaan.

Uit het deskstudie van RIVM (RIVM, 2019) blijkt dat de maximaal aangetroffen concentratie aan benzeen (3,1 mg/kg d.s.) en de 95-percentiel waarde van locaties waar verontreiniging is aangetroffen (1,55 mg/kg d.s.) een factor 4 tot 8 lager liggen dan de berekende risicogrenswaarden voor wonen en infrastructuur (ca. 13 mg/kg d.s.). De blootstelling via inslikken (ingestie) en binnendringen via de huid (dermale) zullen verwaarloosbaar zijn. Blootstelling aan benzeen via inademen (inhalatie) via de buitenlucht wordt laag ingeschat. De berekende totale blootstelling ligt veel lager dan het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR). De geschatte buitenlucht concentratie ligt onder de wettelijke grenswaarde lucht (Toelaatbare Concentratie Lucht; TCL) van benzeen van 5 µg/m³. Met andere woorden: op basis van de deskstudie worden geen risico's voor de omgeving verwacht in relatie tot benzeen ten gevolge gaslekken.

Eind april en begin mei 2019 zijn veldmetingen uitgevoerd door RIVM (RIVM, 2019). Deze veldmetingen hadden tot doel om na te gaan in hoeverre benzeen vrijkomt in de omgeving tijdens de reparatiewerkzaamheden. De concentraties op ademhoogte liggen onder het MTR-lucht en slechts marginaal boven de wettelijke grenswaarde lucht (TCL). Gezien de korte blootstellingsduur (een reparatie duurt ongeveer 1 tot 2 uur) kunnen de risico's als verwaarloosbaar worden beschouwd. Er is geen reden tot zorg voor de omgeving.

RIVM geeft evenwel aan dat indien de lekkage heeft geleid tot een grote verspreiding en een grote omvang van de verontreinigde locatie, de mogelijkheid bestaat dat benzeen zich verspreidt onder woningen. Ook kan de drinkwaterkwaliteit worden aangetast indien PE-drinkwaterleidingen in contact staat met verontreinigde grond. Dit verdient aandacht in de toekomst.

2.2.2 Risico voor drinkwater

Gas- en drinkwaterleidingen liggen vaak in elkaars nabijheid. Een benzeenverontreiniging veroorzaakt door langdurige gaslekkage kan van invloed zijn op de drinkwaterleiding. Samen met KWR is een inschatting gemaakt van het risico voor drinkwater (KWR, 2019). Hieruit blijkt dat de kans dat de drinkwaterkwaliteit negatief beïnvloed wordt door de aanwezigheid van benzeen in de bodem ten gevolge van gaslekken, klein is. In die situaties moet de benzeenverontreiniging nabij een PE 40 drinkwaterleiding zijn gelegen waarbij de concentratie de risicogrenswaarde overschrijdt. Dit zal in ca. 10 tot 20-tal locaties per jaar voor kunnen komen. Met VEWIN wordt in de komende periode de vervolgactie bepaald.

3 Hoofdlijn beperken of voorkomen van verontreiniging (plan van aanpak)

3.1 Introductie

Gaslekken zijn niet te voorkomen bij het beheer van een gasdistributienet. Vanzelfsprekend is het van belang dat gaslekken tijdig worden opgemerkt en hersteld. Het tijdig opmerken en herstellen is van belang om de veiligheid en betrouwbaarheid van de gasdistributie te waarborgen. De netbeheerders hebben daar in afstemming met Staatstoezicht op de Mijnen een vaste werkwijze voor (Netbeheer Nederland, 2012).

Er is vastgesteld dat langdurige gaslekken leiden tot een benzeenverontreiniging in de bodem. Omdat deze verontreinigingen zijn ontstaan na 1987 is de zorgplicht uit de Wet bodembescherming van toepassing. Het tijdig opmerken en herstellen van gaslekken heeft dus ook invloed op de aard en omvang van de benzeenverontreiniging.

3.2 Beperken of voorkomen van verontreiniging

Voorkomen van bodemverontreiniging prevaleert boven het saneren van bodemverontreiniging. Naast mogelijkheden om te onderzoeken hoe een eventuele bodemverontreiniging met benzeen kan worden gesaneerd (zie hoofdstuk 4), is het ook relevant om mogelijkheden te onderzoeken om de bodemverontreiniging met benzeen te voorkomen of te beperken.

Bij het ontstaan van de bodemverontreiniging ten gevolge van gaslekken zijn enkele elementen, al dan niet in onderling verband, relevant:

- de concentratie benzeen in het aardgas;
- de duur van het gaslek;
- de omvang (lekdebiet) van het gaslek.

3.2.1 Monitoring concentraties benzeen in aardgas

Er is een wettelijke ruimte om aardgas te leveren met een concentratie benzeen van maximaal 0,1%V (Europese Unie, 2015). Dit komt overeen met ca. 1.000 PPM (parts per million). Uit de uitgevoerde metingen blijkt dat de concentratie benzeen in aardgas momenteel gemiddeld ca. 158 PPM met een maximum van ca. 300 PPM bedraagt. De concentratie benzeen in aardgas fluctueert per locatie in tijd (KIWA, 2019).

In het komende jaar wordt de concentratie benzeen in aardgas gemonitord om mogelijke (positieve of negatieve) trends in concentraties benzeen in aardgas te bepalen. Deze trends kunnen van invloed zijn op de toekomstige aanpak van benzeenverontreinigingen ten gevolge van gaslekken.

3.2.2 Pilot hogere frequentie gaslekzoeken

Binnen Netbeheer Nederland is een meetprocedure vastgesteld voor het uitvoeren van bovengronds gaslekzoeken (Netbeheer Nederland, 2012). Doel van de meetprocedure is om landelijk een eenduidige en betrouwbare wijze van periodiek gaslekzoeken te bewerkstelligen. De meetprocedure gaat uit van het al lopend controleren van het ondergrondse leidingtracé waarbij bovengronds gas/bodemluchtmonsters worden aangezogen. De looproutes zijn gekoppeld aan het leidingtracé en bijgewerkte beheerkaarten. De meetprocedure is van toepassing op de lage (tot en met 200 mbar) en hoge druk gasdistributienetten (tot en met 8 bar).

Regulier wordt het bovengronds gaslekzoeken uitgevoerd in een cyclus van 5 jaar. Dit betekent dat in theorie een gaslek maximaal 5 jaar in de bodem aanwezig kan zijn voordat deze wordt opgemerkt. In de pilot wordt beoordeeld wat het effect is op de aard en mate van een benzeenverontreiniging ten gevolge van gaslekken wanneer de gaslekzoekfrequentie wordt verhoogd. Dit betekent dat in de pilot een deel van een ondergronds gasnet vaker wordt onderzocht dan de reguliere termijn van 5 jaar. Hiermee kan worden aangetoond in

hoeverre het aantal gaslekken en de aanwezigheid en omvang van benzeenverontreinigingen worden beïnvloed door een aangepaste gaslekzoekfrequentie. Opgemerkt wordt dat de pilot nog nader gedetailleerd moet worden en vermoedelijk na 2020 wordt uitgevoerd.

3.2.3 Omvang (lekdebiet) gaslek

Er is vooralsnog géén onderzoek voorzien/gepland die invloed heeft of kan hebben op de omvang van gaslekken.

4 Hoofdlĳn saneringsonderzoek voor saneren benzeenverontreiniging

4.1 Introductie

Het saneren van benzeenverontreinigingen is niet nieuw in Nederland. Al vele benzeenverontreinigingen zijn op uiteenlopende manieren gesaneerd. De omstandigheden bij benzeenverontreinigingen ten gevolge van gaslekken zijn afwijkend ten opzichte van de andere benzeenverontreinigingen.

Bij gaslekken is maximaal 13 mg/kg d.s. GSSD en 1.900 µg/l in respectievelijk de grond en het grondwater aangetroffen. De grondverontreiniging heeft een gemiddelde omvang van ca. 10 m³. Dat zijn relatief kleine verontreinigingen in mogelijk complexe omgevingen (bijv. kabel- en leidingtracé). Daarbij komt dat gaslekreparatie in een groot aantal gevallen, vanwege het herstellen van de gasdistributie en veiligheid voor de omgeving, niet kan worden uitgesteld. Dat betekent dat vooraf aan het herstel van een gaslek niet altijd een bodemonderzoek wordt uitgevoerd.

Daarom wordt onderzocht of (natuurlijke) afname de meest effectieve en efficiënte saneringstechniek is om de gevolgen van benzeenverontreiniging in de bodem ten gevolge van gaslekken weg te nemen. Dit onderzoek moet dus leiden tot een valide afwegingsmethodiek die in toekomst gebruikt kan worden.

4.2 Vraagstelling

Om het beoogde resultaat (zie paragraaf 1.3 en 4.1) te kunnen behalen is samenwerking gezocht met de adviesbureau Antea Group en Stantec. Aan de beide adviesbureaus is gevraagd om “de netbeheerders te ondersteunen in de ontwikkeling van aanpak om te komen tot een onderbouwde saneringsmethodiek die voor het merendeel van de gaslekken toepasbaar is en leidt tot het voldoen aan het zorgplichtbeginsel”.

Op basis van de huidige inzichten (zie hoofdstuk 2) wordt het onderzoek vooral gericht op het vaststellen of en in welke mate (natuurlijke) afname, na gaslekreparatie een valide saneringstechniek is en, indien dit niet het geval is, welke saneringstechnieken beschikbaar en toepasbaar zijn in uiteenlopende omstandigheden (afwegingsmethodiek).

4.3 Hypothesen

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken zijn twee hypothesen gesteld die richting geven aan de invulling van het saneringsonderzoek. Verwacht wordt dat:

- 1) binnen een jaar na reparatie van het gaslek, de concentratie van benzeen significant is afgenomen als gevolg van (natuurlijke) afname;
- 2) (natuurlijke) afname de meest doelmatige saneringsmethode is voor het wegnemen van de gevolgen van benzeenverontreiniging in de bodem als gevolg van gaslekkages.

4.4 Uitgangspunten

Bij het opstellen van het plan van aanpak zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Proces gaslekzoeken en gaslekherstel (bron wegnemen) is losgekoppeld van het milieukundig saneringsonderzoek.
- Benzeenverontreinigingen veroorzaakt door gaslekage worden beschouwd als nieuwe gevallen van bodemverontreiniging.
- De netbeheerders willen hun zorgplicht goed inrichten.
- In het plan van aanpak worden alleen locaties betrokken waarvan de gaslekken zijn geïnventariseerd in de reguliere gaslekzoekprogramma's van de netbeheerders én op gaslekken op basis van gasluchtmeldingen waarbij het aardgas gedurende langere tijd in de bodem heeft kunnen lekken.
- De concentratie benzeen in aardgas bedraagt max. 300 PPM.
- De aanpak geldt alleen voor een steekproef van de gerepareerde gaslekken.

Dit betekent dat benzeenverontreinigingen die niet (alleen) worden veroorzaakt door een gaslek niet in de steekproef van het saneringsonderzoek worden opgenomen.

Hoe om te gaan met gasleklocaties die niet in het saneringsonderzoek worden opgenomen?

Omdat het saneringsonderzoek alleen wordt uitgevoerd op een steekproef van gaslekken, betekent dat bij groot deel van de gerepareerde gaslekken geen bodemonderzoek of –sanering wordt uitgevoerd. Deze gaslekken worden wel geregistreerd door de netbeheerders. Na afronding van het saneringsonderzoek en het vaststellen van de valide saneringstechniek en afwegingsmethodiek, wordt beoordeeld of en op welke wijze de sanering nodig en nuttig is op die locaties.

4.5 Terugsaneerwaarde

Als beoogd resultaat is aangegeven dat de gevolgen van de benzeenverontreiniging van gaslekken weggenomen moet worden als gevolg van natuurlijke afname of andere saneringstechnieken (paragraaf 4.2). In het geval van zorgplicht wordt in beginsel een volledige verwijdering vereist. Dit betekent dat normaliter de achtergrondwaarde (GSSD) als terugsaneerwaarde moet worden gehanteerd. Hoewel de netbeheerders de volledige verwijdering van benzeen nabij gaslekken nastreven, wordt rekening gehouden dat dat niet op alle locaties haalbaar is. Het saneringsonderzoek zal moeten uitwijzen of het behalen van de achtergrondwaarde of de tussenwaarde adequaat en realistisch is gegeven de verontreinigingskenmerken en locatie specifieke omstandigheden.

4.6 Scope en steekproef

4.6.1 Scope

Jaarlijks ontstaan ca. 5.000 gaslekken in het gasdistributiesysteem die worden gemeld via het reguliere gaslekzoekprogramma en gasluchtmeldingen door klanten en derden. Deze gaslekken worden zo spoedig mogelijk gerepareerd en geregistreerd. Het saneringsonderzoek wordt uitgevoerd op een **steekproef** van die **gerepareerde gaslekken**.

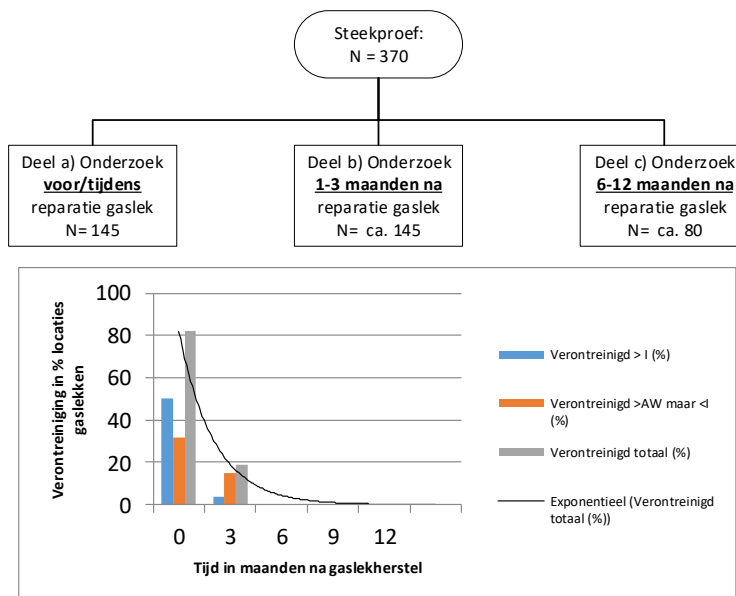
4.6.2 Steekproef

Voor het bepalen van de omvang van de steekproef is rekening gehouden met een populatie van 5.000 gaslekken per jaar. Bij de bepaling van de representatieve steekproef is een 95% betrouwbaarheid en 5% foutenmarge gehanteerd. Dit leidt tot een totale steekproef van maximaal ca. 370 locaties. Bij de selectie van de locaties wordt een representatieve steekproef en een optimaal (her)gebruik van de bodemonderzoeken, die reeds zijn uitgevoerd (zie par. 2.1), nagestreefd.

De steekproef van maximaal ca. 370 locaties wordt verdeeld in drie delen (zie figuur 1). De drie delen zijn verdeeld op basis van de tijdsduur t.o.v. de gaslekreparatie:

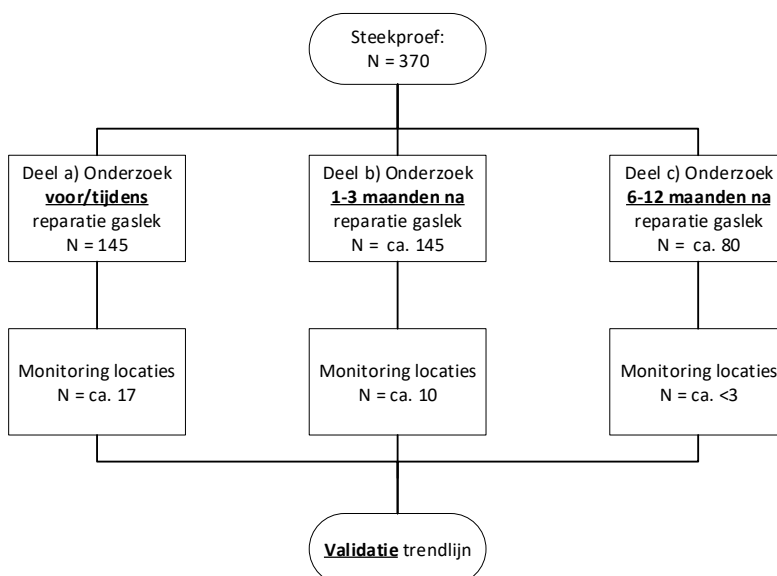
- situatie **voor** gaslekreparatie (145 locaties van eind 2018);
- situatie **tot 3 maanden na** gaslekreparatie (ca. 145 locatie eind 2019/begin 2020), en;
- situaties op ca. **6 tot 12 maanden na** gaslekreparatie (ca. 80 locaties).

Figuur 1: opzet onderzoek (natuurlijke) afname incl. verwachte trend)



Op basis van de voorlichting inzichten uit de bodemverontreiniging (zie paragraaf 2.1) volgt een trend (zie figuur 2). De trend willen we valideren door ca. 30 locaties de benzeenverontreiniging te karteren en periodiek (per ca. 6 maanden) te monitoren na gaslekreparatie. Hiervoor worden de gekarteerde locaties van eind 2018 tot begin 2020 gebruikt. Verwacht wordt dat dit onderzoek de trend zal ondersteunen waarmee de effectiviteit en efficiëntie van (natuurlijke) afname van benzeenverontreiniging t.g.v. gaslekken kan worden bepaald. De adviesbureaus zullen de locaties onderling verdelen op basis van het voorzieningsgebied van de netbeheerders.

Figuur 2: opzet monitoringsonderzoek ter validatie van trendlijn



De verwachting is dat de (natuurlijke) afname leidt tot voldoende saneringsresultaat. Eind 2020 wordt er een evaluatie opgesteld om de resultaten te beoordelen en op basis van de uitkomsten te kijken naar de vervolgstappen of bijstelling van het onderzoek.

4.7 Maatwerk & Fall-back

4.7.1 Maatwerk locaties

Het is niet uit te sluiten dat op verschillende locaties specifieke omstandigheden of gaslekkenkarakteristieken leiden tot uitzonderlijke gevallen die maatwerk verlangen in de aanpak van de benzeenverontreiniging ten gevolge van gaslekken. In beginsel wordt een locatie als maatwerklocatie beschouwd als sprake is van direct risico voor de omgeving. Het risico kan ontstaan door de aard, omvang of locatie van de benzeenverontreiniging in de bodem.

Maatwerklocaties kunnen zich zowel binnen als buiten de steekproef voordoen. Indien sprake is van maatwerk wordt beoordeeld of (natuurlijke) afname mogelijk is of dat een actieve sanering (gestimuleerde (natuurlijke) afname, bodemluchtextractie, ontgraven etc.) noodzakelijk is.

4.7.2 Fall-back scenario

Als terugsaneerwaarde is als doelstelling de achtergrondwaarde bepaald. In de onderbouwing hiervan (zie paragraaf 4.5) is aangegeven dat de netbeheerders de volledige verwijdering van benzeen nabij gaslekken nastreven, maar dat het saneringsonderzoek moet uitwijzen of het behalen van de achtergrondwaarde adequaat en realistisch is gegeven de verontreinigingskenmerken en locatie specifieke omstandigheden.

Indien wordt ingeschat dat de terugsaneerwaarde of het valide afwegingsmethodiek niet behaald wordt, dan wordt bijgestuurd in het saneringsonderzoek waarbij de representativiteit van het saneringsonderzoek gewaarborgd blijft.

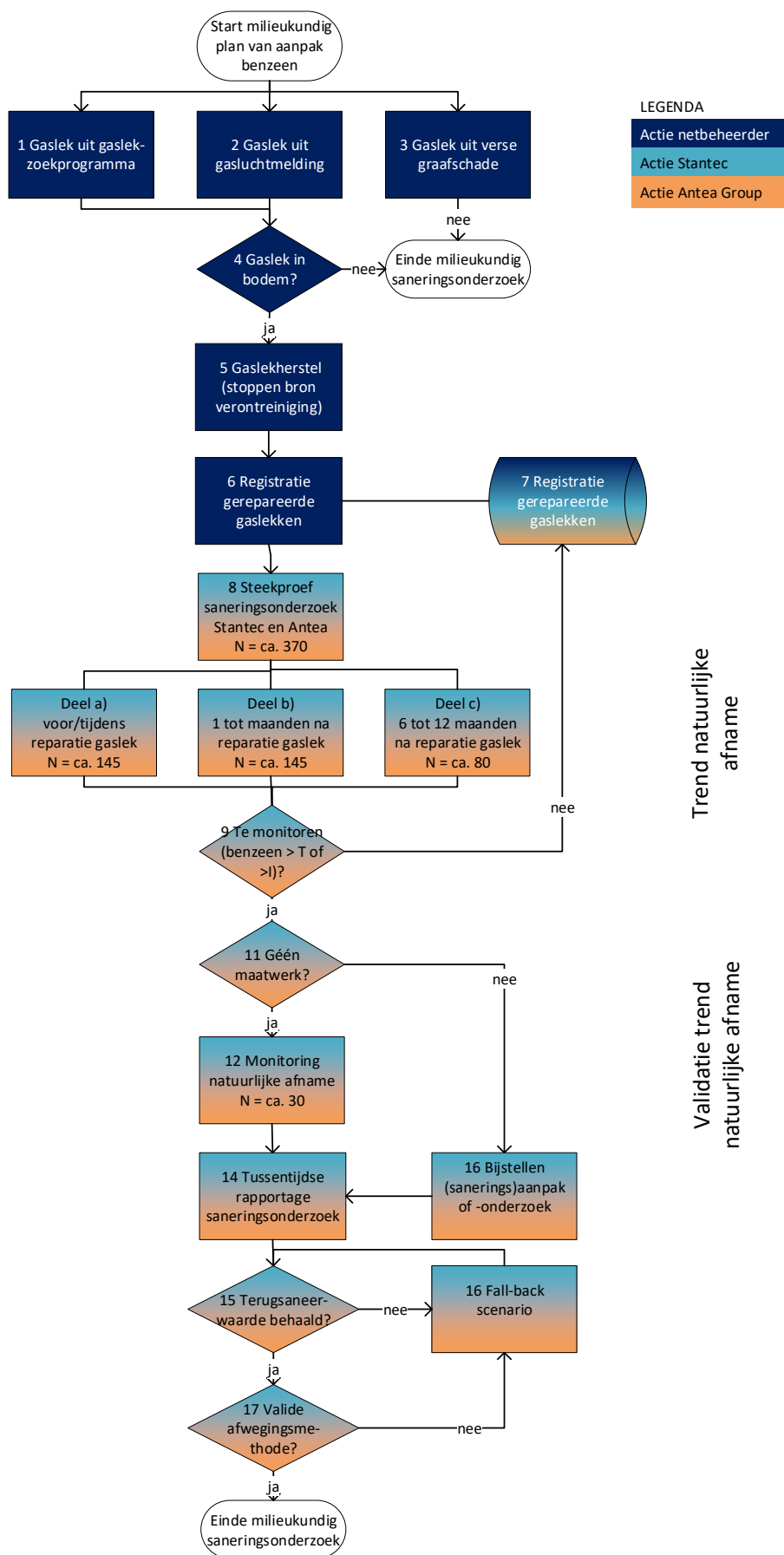
4.8 Proces en fasering saneringsonderzoek

Het uitvoeren van een saneringsonderzoek op deze schaal is een uitdaging. Om zorg te dragen dat het saneringsonderzoek goed wordt uitgevoerd is daarom een proces (zie figuur 3) en fasering ontwikkeld dat is gebaseerd op de uitgangspunten zoals in dit hoofdstuk zijn beschreven. Naast een goed proces is het van belang dat de kwaliteit van het onderzoek wordt geborgd. Hiervoor zullen de onderzoeken die Antea Group en Stantec uitvoeren voldoen aan de vigerende normen en eisen die gesteld worden aan het verrichten van bodemonderzoek waaronder de BRL 2000 en AS3000.

Loskoppelen gaslekzoeken en gaslekherstel versus saneringsonderzoek

In het proces is ervoor gekozen om het proces van gaslekzoeken en gaslekherstel, los te koppelen van het saneringsonderzoek. Hierdoor heeft het gaslekherstel voorrang op de uitvoering van het saneringsonderzoek. De netbeheerders registreren alle gerepareerde gaslekken.

Figuur 3: processchema saneringsonderzoek



4.9 Communicatie

4.9.1 Bevoegd gezag

Bij de uitvoering van het saneringsonderzoek worden allereerst de bodemonderzoeken op de geschikte locaties uitgevoerd door de milieuadviesbureaus. De locaties die opgenomen worden in de monitoring van (natuurlijke) afname of in een actieve sanering (maatwerklocatie of fall-back scenario), worden gemeld aan het betreffende bevoegde gezag middels meldingsformulier van het betreffende bevoegde gezag. In het meldingsformulier wordt een koppeling gemaakt naar dit plan van aanpak en saneringsonderzoek. Doel van de melding is om het bevoegd gezag inzicht te geven in lopende saneringsonderzoeken binnen hun grondgebied.

De (tussentijdse) monitoringsresultaten worden aangeboden aan de betreffende bevoegde gezagen. Hiermee wordt geborgd dat het bevoegde gezag periodiek inzicht krijgt in de vorderingen van het saneringsonderzoek binnen hun grondgebied. Ook wijzigingen in het saneringsonderzoek op een specifieke locatie worden gemeld ter bevordering van de toezichthoudende taak van het bevoegde gezag. Zoals aangegeven in paragraaf 4.6 wordt eind 2020 een evaluatie opgesteld om de eerste overall resultaten te beoordelen en op basis van de uitkomsten te kijken naar de vervolgstappen of bijstelling van het onderzoek.

Algemene wijzigingen, ontwikkelingen en inzichten over het dossier benzeen zullen via algemene brieven vanuit Netbeheer Nederland kenbaar worden gemaakt.

4.9.2 Andere stakeholders

Indien nodig worden relevante stakeholders geïnformeerd over de uitvoering van het plan van aanpak en het saneringsonderzoek. Of en op welke wijze de relevante stakeholders wordt situationeel bepaald en uitgevoerd.

Bibliografie

- Antea Group. (2019). *Datarapportage afperkende bodemonderzoeken; 435356.39-AFP-DATARAP*. Oosterhout: Antea Group.
- Antea Group. (2019). *Datarapportage afperkende bodemonderzoeken; 435356.39-AFP-DATARAP*. Oosterhout: Antea Group.
- Antea Group. (2019). *Eindrapportage benzeenonderzoek; benzeenverontreiniging als gevolg van gaslekkages; 437391.100*. Oosterhout: Antea Group.
- Antea Group. (6 november 2018). *Feitenrapportage; onderzoek naar benzeenverontreiniging nabij gaslekkages*. Oosterhout: Antea Group.
- Europese Unie. (2015, September 4). Verordening (EU) 2015/1494 van de commissie; . *Wijziging van bijlage XVII bij Verordening (EG) nr. 1907/2006 van het Europees Parlement en de Raad inzake de registratie en beoordeling van en de autorisatie en beperkingen ten aanzien van chemische stoffen*. Brussel: Europese Unie.
- KIWA. (13 maart 2018). *Impact van een gaslek op benzeenverontreiniging in de bodem*. Apeldoorn: KIWA .
- KIWA. (2019, maart 27). Periodieke monitoring benzeengehalte IO-2019-2025; e-mail. Apeldoorn: KIWA.
- KIWA. (2019). *Resultaten benzeenmetingen 2019*. Apeldoorn: KIWA.
- KIWA. (24 september 2018). *Vervolgonderzoek correlatie tussen gaslek en bodemverontreiniging door benzeen*. Apeldoorn: KIWA.
- KIWA. (29 oktober 2018). *Bevindingen naar bodemverontreiniging door gaslek en expositie door monteurs*. Apeldoorn: KIWA.
- KWR. (2016). *De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodems; permeatie*. Nieuwegein: KWR .
- KWR. (2019). *Risicogrenswaarden voor de permeatie van uit gaslekken afkomstig benzeen door drinkwaterleidingen*. Nieuwegein: KWR.
- Liander . (2019). *Benzeen nabij gaslekken; Verdieping van analyse uit onderzoeksfase 1: wat kunnen we afleiden uit de data. Concept V0_2*. Arnhem: Liander .
- Liander. (2019). *Benzeen nabij gaslekken; Verdieping van analyse uit onderzoeksfase 1: wat kunnen we afleiden uit de data; concept 0.2*. Duiven: Liander.
- Netbeheer Nederland. (2012). *Meetprocedure voor bovengronds lekzoeken; D-12-5709*. Arnhem: Netbeheer Nederland.
- Netbeheer Nederland. (2018, november 7). Brief stand van zaken kleine gaslekken. *BR-2018-1546*. Den Haag: Netbeheer Nederland.
- Netbeheer Nederland. (2019, Augustus 13). Brief stand van zaken langdurige kleine gaslekken _update 4. Den Haag: Netbeheer Nederland.
- Overheid.nl. (2013). *overheid.nl*. Opgehaald van overheid.nl: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0033592/2013-07-01>
- Overheid.nl. (2019, januari 21). *wetten.nl*. Opgehaald van Wet bodembescherming: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003994/2017-01-01>
- Rijksoverheid. (2019, juli 01). *Wet Bodembescherming*. Opgehaald van Wetten.nl: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003994/2017-01-01>
- RIVM. (2013). *Risk assessment of an increased limit of benzene in natural gas*. Bilthoven: RIVM.
- RIVM. (2019). *Onderzoek gezondheidsrisico's voor omwonenden en passanten door bodemverontreiniging met benzeen nabij kleine gaslekken; 028/2019 DMG/BL/PO*. Bilthoven: RIVM.
- RPS. (9 november 2018). *Rapportage blootstellingsonderzoek benzeen bij reparatie gaslekkages; 17030067RAH*. Breda: RPS.
- Stantec. (14 november 2018). *Aanvullend bodemonderzoek; bodemverontreiniging met benzeen als gevolg van niet acute gaslekken binnen beheersgebied Liander; M18B0069*. Delft: Stantec.
- Stantec. (2019). *Aanvullend bodemonderzoek; Bodemonderzoek met benzeen als gevolg van niet acute gaslekken binnen beheersgebied Liander fase III; M18B0316*. Delft: Stantec.

Bijlage 1: Samenvatting bodemonderzoeken verontreiniging door langdurige gaslekken

(zie ook: <https://www.netbeheernederland.nl/dossiers/benzeen-59>)

1. Inleiding

De eerste signalen van mogelijke benzeenverontreiniging vanuit het gasdistributienetwerk, dateren van midden 2017. Op een aantal plekken was een benzeenverontreiniging in de bodem aangetroffen, zonder dat hiervoor een logische historische bron aanwijsbaar was. De enige andere mogelijke bron leek de aanwezigheid van een gasleiding in de directe nabijheid. Aardgas bevat immers benzeen. Sindsdien zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd. In dit hoofdstuk worden de verschillende onderzoeken en onderzoeksresultaten kort toegelicht.

2. De eerste onderzoeken van KIWA

In eerste instantie heeft Netbeheer Nederland KIWA gevraagd om een theoretisch onderzoek uit te voeren. Dit onderzoek moest duidelijk maken of het mogelijk is dat een gaslek kan leiden tot bodemverontreiniging met benzeen. KIWA heeft dat in samenwerking met Bioclear Earth opgepakt op basis van theoretische modellen. Uit deze studie hebben KIWA en Bioclear Earth, geconcludeerd dat het aannemelijk is, dat bij gaslekken in het gasdistributienet de interventiewaarde (>1 ; 1,1 mg/kg d.s. GSSD) van benzeen kan worden overschreden (KIWA, 13 maart 2018).

Vervolgens heeft KIWA een praktijkonderzoek uitgevoerd. KIWA heeft getest of een overschrijding van de interventiewaarde voor benzeen in de praktijk ook wordt aangetroffen. Hierbij zijn bodemonderzoeken uitgevoerd op 16 locaties waar een klein langdurig gaslek was aangetroffen. Het ging om plekken waar het nog gerepareerd moest worden. In dit onderzoek heeft KIWA vastgesteld dat op 5 van de 16 locaties een overschrijding van de interventiewaarde voor benzeen in de bodem is aangetroffen. Daarmee is aangetoond dat een (langdurig) gaslek kan leiden tot een overschrijding van de interventiewaarde van benzeen in de bodem (KIWA, 24 september 2018).

3. Onderzoeksresultaten Netbeheer Nederland

Op basis van de resultaten uit het tweede KIWA-onderzoek (KIWA, 24 september 2018) hebben de netbeheerders direct maatregelen genomen. Tegelijkertijd heeft Netbeheer Nederland nader onderzoek opgestart. In de periode oktober 2018 – mei 2019 is verder onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van benzeen in de bodem nabij langdurige gaslekken. Dit onderzoek is in drie fasen opgebouwd.

Een samenvatting van de bevindingen uit deze drie onderzoeksfases is opgenomen in tabel 1. De volgende subparagrafen beschrijven de bevindingen in die onderzoeksfase.

Tabel 1: Onderzoeksfases van Netbeheer Nederland; benzeen van gaslekken

Onderzoeks-Fase	Periode uitvoering	Hoofddoel(en) van de onderzoeksfase	Omvang onderzoek (in aantal locaties)*
1	Oktober / november 2018	Vaststellen hoe vaak en in welke mate benzeen in de grond boven de gasleiding aanwezig als gevolg van gaslekken en identificeren van mogelijke triggers die vroegtijdig kunnen duiden op die benzeenverontreiniging	Grond: 145 locaties
2	November 2018	Bepalen verspreiding van de grondverontreiniging en inzicht in grondwaterkwaliteit (op locaties uit onderzoeksfase 1) en blootstelling	Grond: 15 Grondwater: 4
3*	December 2018 – april 2019	Inzicht in gedragingen en manifestatie van benzeenverontreinigingen in de grond en inzicht in grondwaterkwaliteit op locaties uit onderzoeksfase 1*	Grond: 12 (verontreinigd) Grond: 14 (schoon) Grondwater: 16

*afperking heeft plaatsgevonden op locaties waarbij in de onderzoeksfase 1 zowel wel bodemverontreiniging als géén verontreiniging boven de gasleiding is aangetroffen.

Alle onderzoeken zijn in opdracht van Stedin, Enexis en Liander (namens Netbeheer Nederland) uitgevoerd door Stantec en Antea Group volgens de geldende normen voor veldwerk (BRL 2000) en analyses (AS 3000).

3.1 Onderzoeksfase 1: toetsing representativiteit KIWA-resultaten

Onderzoeksfase 1 had twee hoofddoelen:

- Valideren of de getalsverhoudingen uit het KIWA rapport representatief zijn voor de volledige populatie gaslekken.
- Vaststellen of er (eenvoudige) aanwijzingen (triggers) aanwezig zijn die, voordat wordt gegraven, aangeven of er benzeen in de bodem aanwezig is.

Benadrukt moet worden dat onderzoeksfase 1 alleen boven de gasleiding is uitgevoerd waarbij per locatie één boring is geplaatst. Dit heeft twee oorzaken:

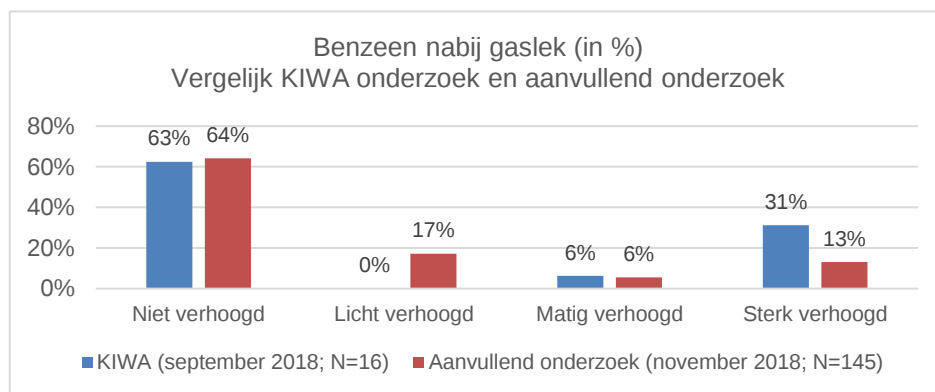
- Veldwerk in een kabel- en leidingtracé kan leiden tot directe humane risico's en schade aan assets. Dit betekent dat normaliter het veldwerk, bij voorkeur, niet in een kabel- en leidingtracé wordt uitgevoerd.;
- De onderzoeken zijn in een kort tijdsbestek uitgevoerd.

Onderzoeksfase 1 is in oktober en november 2018 uitgevoerd op 145 locaties. Bij het veldwerk zijn naast het nemen van ongeroerde grondmonsters (steekbussen) ook aanvullende metingen gedaan met PID-meters die (met een scrubber) benzeen in bodemlucht kunnen bepalen.

Uit de grondmonsters blijkt dat voor benzeen:

- Op 19 locaties sterk verontreinigde grond ($13\% > 1$) is aangetroffen (Antea Group, 6 november 2018);
- Het percentage totaal verontreinigde locaties ($> AW$ van $0,2 \text{ mg/kg d.s.}$) in het KIWA rapport en het aanvullend onderzoek overeenkomen (36% om 37% , zie figuur 1 van bijlage 1);
- De hoogst geanalyseerde concentratie benzeen bedraagt $3,1 \text{ mg/kg d.s.}$. De maximale gecorrigeerde waarde is $10,3 \text{ mg/kg d.s.}$ (GSSD) benzeen. Deze correctie is een 'vertaling' naar een 'standaard bodem' met 10% organische stof en 25% lutum.
- THT (gasgeurstof) is niet boven de detectielimiet aangetoond ($N=51$).

Figuur 1 van bijlage 1: Benzeen nabij gaslekken: verhouding KIWA en aanvullend onderzoek



3.2 Onderzoeksfase 2: karteren en blootstellingsonderzoek

Onderzoeksfase 2 had twee doelen:

- Het karteren van de horizontale en verticale verspreiding van benzeen in de bodem;
- Feitelijke blootstelling bepalen bij het herstellen van gaslekken in een bodem met benzeenverontreiniging op basis waarvan een adequaat maatregelenpakket kan worden vastgesteld.

Deze onderzoeksfase is uitgevoerd in november 2018. Op vooral sterk verontreinigde locaties uit fase 1, is gepoogd om de grondverontreiniging af te perken (Stantec, 14 november 2018) (Antea Group, 2019) om inzicht te krijgen in de horizontale en verticale verspreiding. Het onderzoek is uitgevoerd op 15 locaties. Op 10 locaties is het veldwerk tegelijkertijd uitgevoerd met de reparatie van het gaslek én de uitvoering van een blootstellingsonderzoek.

Uit het onderzoek blijkt dat:

- De horizontale verspreiding (N=13 van de 15 onderzochte locaties) van de verontreiniging beperkt is (enkele meters uit de kern). In verticale richting is de verontreiniging in onvoldoende mate afgeperkt.
- Een volumebepaling van de grondverontreiniging nog niet betrouwbaar mogelijk is.
- Onder de gasleiding (N=9 van de 15 onderzochte locaties) ook verontreinigingen boven de interventiewaarde zijn aangetoond.
- De in onderzoeksfase 1 maximaal gemeten en gecorrigeerde benzeenconcentratie in de bodem niet worden overschreden;
- In het grondwater licht tot matig verhoogde concentraties benzeen zijn aangetroffen (N=4). De maximaal gemeten hoeveelheid benzeen in het grondwater is 14 µg/l (<TW van 15,1 µg/l).

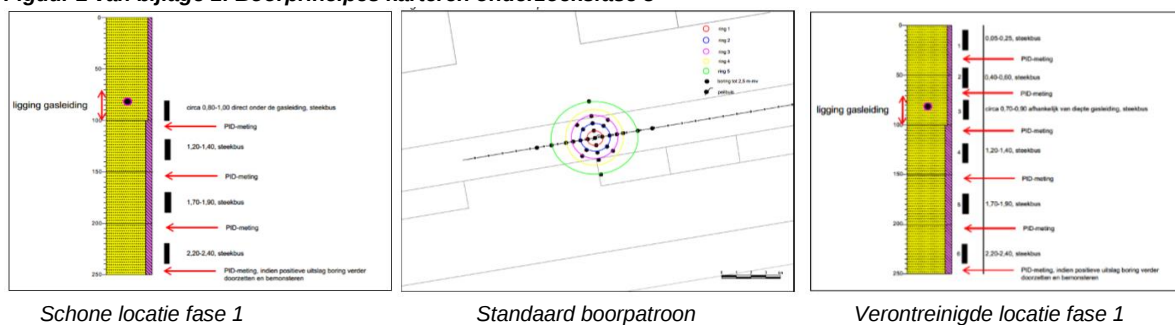
3.3 Onderzoeksfase 3: karteren verontreiniging

In onderzoeksfase 3 heeft verdere afperking van de bodemverontreiniging op 12 locaties plaatsgevonden. Daarbij ging het om de hoeveelheid verontreinigde kubieke meters grond (en grondwater) én de hoeveelheid benzeen (de vracht) binnen dat volume.

In deze fase zijn ook gaslekken meegenomen uit onderzoeksfase 1, waar boven het gaslek géén verontreiniging was aangetroffen (14 locaties). Dit laatste deel van het onderzoek in fase 3 was bedoeld om meer inzicht te krijgen in het gedrag van benzeen in de bodem.

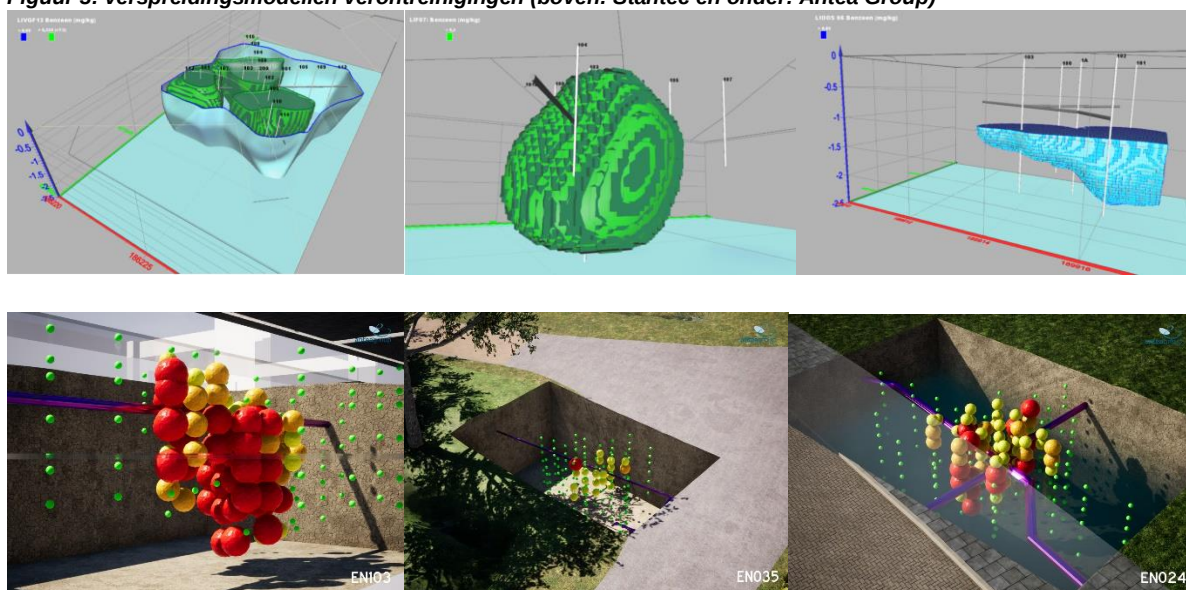
Hierbij is een intensief vastgesteld boorpatroon gehanteerd door Stantec en Antea Group (zie figuur 2 van bijlage 1).

Figuur 2 van bijlage 1: Boorprincipes karteren onderzoeksfase 3



De omvang, verspreiding en manifestatie van benzeen in de grond per locatie verschillen (zie figuur 3) maar in de meeste gevallen de horizontale en verticale verspreiding beperkt blijft tot enkele meters van het gaslek (Antea Group, 2019) (Stantec, 2019).

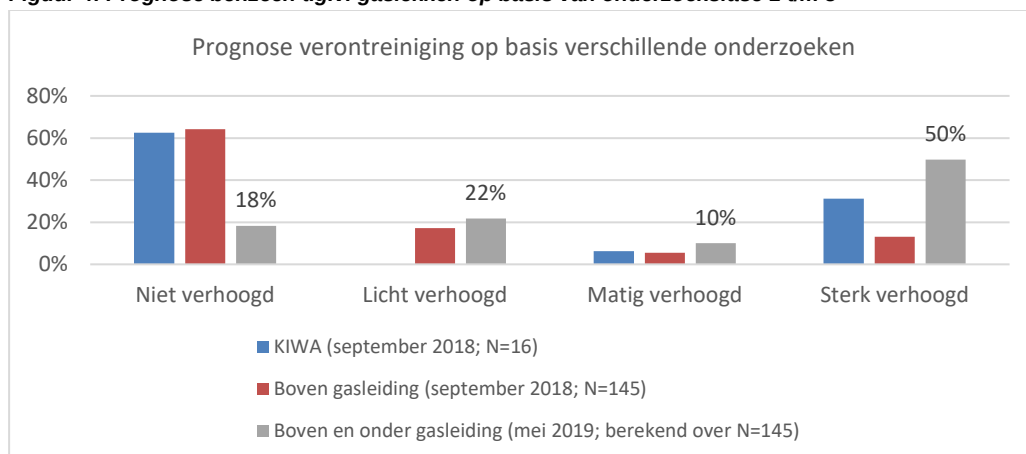
Figuur 3: verspreidingsmodellen verontreinigingen (boven: Stantec en onder: Antea Group)



Het volume van de grondverontreiniging bedraagt gemiddeld ca. 10 m3 bedraagt (P95 is ca. 20 m3).

Onder de gasleiding wordt vaker een benzeenverontreiniging aangetroffen dan boven de gasleiding. Op locaties waar in onderzoeksfase 1 geen benzeen is aangetoond in de grond boven de gasleiding, blijkt onder de gasleiding in 70% van de onderzochte locaties alsnog verontreinigd. Het gevolg is dat de verhouding van wel of geen benzeenverontreiniging in de bodem ten gevolge van gaslekken hiermee significant veranderd (zie figuur 4). Op basis van alle beschikbare onderzoeken kan worden verwacht dat gaslekken in ca. 80% van de gevallen kunnen leiden tot een verontreiniging met benzeen waarvan ca. 50% sterke verontreinigingen.

Figuur 4: Prognose benzeen t.g.v. gaslekken op basis van onderzoeksfase 1 t/m 3

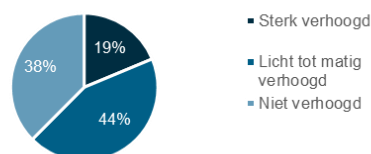


De maximaal gemeten benzeenconcentratie in de grond uit onderzoeksfase 1 wordt in onderzoeksfase 3 niet overschreden; het maximaal gemeten concentratie benzeen bedraagt derhalve 3,1 mg/kg d.s. De maximaal gecorrigeerde benzeenconcentraties in de grond bedraagt 13 mg/kg d.s. (zie tabel 2).

In het grondwater (N=16) zijn eveneens verschillen tussen de locaties te zien. Er zijn niet tot sterk verhoogde concentraties gemeten (zie figuur 5 en tabel 2). In één geval is een sterk afwijkende concentratie benzeen in het grondwater gemeten (1.900 µg/l); hiervoor is geen eenduidige verklaring voorhanden. Geen van de grondwaterverontreinigingen zijn vooralsnog afgeperkt.

Figuur 5: grondwaterverontreiniging benzeen t.g.v. gaslekken

Verdeling grondwaterverontreiniging benzeen nabij gaslekken



Tabel 2: verdeling concentraties benzeen in grond en grondwater

Alle onderzoeksfases		
Criterium	Concentratie in grond (GSSD in mg/kg d.s.)	Concentratie in grondwater (in µg/l)
Minimaal	0,09	0,10
Maximaal	13,00	1900,00
Gemiddelde	2,46	128,95
Modus	0,95	0,10
Mediaan	1,45	1,95
Aantal locaties	145 stuks	16 stuks

3.4 Eerst monitoringsresultaten

In juli en augustus 2019 is de bodem van 13 van de eerder onderzochte locaties (zie 3.1 t/m 3.3) opnieuw onderzocht. Doel was om een beeld te krijgen van het potentiële effect van biologische afbraak van benzeen bij gaslekken. Het resultaat is van dat onderzoek is dat op 11 van de 13 locaties nagenoeg geen tot helemaal geen benzeen in de grond en het grondwater meer is aangetroffen na 6 tot 10 maanden na reparatie van het gaslek. Op de andere 2 locaties is ook sprake van verlaagde concentraties, maar was ter plaatse sprake van hoge aanvangsconcentraties of versturende factoren. De eerste signalen zijn positief en lijken erop te duiden dat (natuurlijke) afname een potentiële saneringsvariant is voor de aanpak van benzeenverontreinigingen ten gevolge van gaslekken.

4. Conclusie op basis van de uitgevoerde bodemonderzoeken

Op basis van de uitgevoerde bodemonderzoeken kan worden geconcludeerd dat:

- Gaslekken in ca. 80% van de situaties kunnen leiden tot een grondverontreiniging met benzeen waarbij de maximale waarde 13 mg/kg d.s. (GSSD) bedraagt. Aangenomen wordt dat in ca. de helft van de locaties de interventiewaarde van benzeen kan worden overschreden.
- De omvang van de grondverontreiniging gemiddeld ca. 10 m³ bedraagt. De p95 is gelegen op ca. 20 m³.
- Ook in het grondwater is benzeen aangetroffen. De maximaal aangetroffen waarde bedraagt 1.900 µg/l; dit is een uitbijter ten opzichte van de overige gemeten concentraties benzeen in het grondwater.
- Geen van de grondwaterverontreinigingen zijn vooralsnog gekarteerd.
- (natuurlijke) afname lijkt een veelbelovende saneringsvariant voor de aanpak van benzeenverontreinigingen ten gevolge van gaslekken.

Geciteerde werken samenvatting

Antea Group. (2019). *Datarapportage afperkende bodemonderzoeken; 435356.39-AFP-DATARAP*. Oosterhout: Antea Group.

Antea Group. (2019). *Eindrapportage benzeenonderzoek; benzeenverontreiniging als gevolg van gaslekkages; 437391.100*. Oosterhout: Antea Group.

Antea Group. (6 november 2018). *Feitenrapportage; onderzoek naar benzeenverontreiniging nabij gaslekkages*. Oosterhout: Antea Group.

KIWA. (13 maart 2018). *Impact van een gaslek op benzeenverontreiniging in de bodem*. Apeldoorn: KIWA.

KIWA. (24 september 2018). *Vervolgonderzoek correlatie tussen gaslek en bodemverontreiniging door benzeen*. Apeldoorn: KIWA.

Stantec. (14 november 2018). *Aanvullend bodemonderzoek; bodemverontreiniging met benzeen als gevolg van niet acute gaslekken binnen beheersgebied Liander; M18B0069*. Delft: Stantec.

Stantec. (2019). *Aanvullend bodemonderzoek; Bodemonderzoek met benzeen als gevolg van niet acute gaslekken binnen beheersgebied Liander fase III; M18B0316*. Delft: Stantec.