

BTO 2018.080 | Oktober 2018

BTO rapport

Wetenschappelijke
onderbouwing ontwerp
proeftuin Veghel voor
beproeving lekdetectie
en warmte water

BTO

Wetenschappelijke onderbouwing ontwerp proeftuin Veghel voor beproeving lekdetectie en warmte water

BTO 2018.080 | Oktober 2018

Opdrachtnummer

402045

Projectmanager

drs. Nellie (P.G.G.) Slaats

Opdrachtgever

BTO - Bedrijfsonderzoek

Kwaliteitsborger(s)

dr. Peter (P.) van thienen

Auteur(s)

dr. Joost (J.R.G.) van Summeren, ir. Ralph (R.H.S.)
Beuken

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.
Een jaar na publicatie is het openbaar.

Jaar van publicatie
2018

Meer informatie

dr. Joost (J.R.G.) van Summeren
T +31 30 606 9667

E Joost.van.Summeren@kwrwater.nl

Keywords

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO 2018.080 | Oktober 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

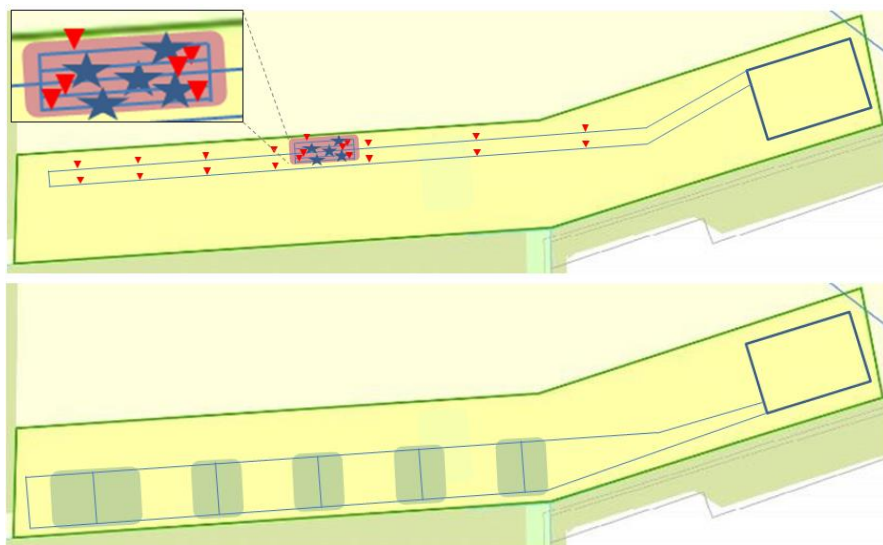
Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Onderbouwing voor een proeftuin in Veghel voor het beproeven van lekdetectie en onderzoek naar drinkwatertemperatuur

Auteurs dr. Joost (J.R.G.) van Summeren, ir. Ralph (R.H.S.) Beuken

Brabant Water wil in Veghel een proeftuin aanleggen als testomgeving voor nieuwe drinkwaterdistributietechnieken. In bedrijfsonderzoek voor Brabant Water zijn relevante onderzoeksthema's beschreven. Hieruit heeft Brabant Water twee thema's geselecteerd: (i) toetsing van detectietechnieken naar sluimerende leidinglekken met akoestische metingen en tracergassen lekken en (ii) onderzoek naar invloedfactoren en beheersmaatregelen ten aanzien van hoge drinkwatertemperaturen. Deze twee onderzoeksthema's zijn vervolgens uitgewerkt met aandachtspunten en randvoorwaarden. Daarmee is een conceptueel ontwerp voor de proeftuin opgesteld, inclusief een globale inrichting. Dit conceptuele ontwerp kan dienen als basis voor het realiseren van een concreet en definitief ontwerp volgens nader omschreven stappen.



Schematische visualisatie van concept voor het proeftuingebied (bovenaanzichten, geel) met boven de proefinstallatie voor lekdetectie en onder onderzoek naar drinkwatertemperatuur

Belang: een onderbouwde proeftuin voor het testen van innovatieve distributietechnieken. Brabant Water wil een proeftuin aanleggen als testomgeving voor nieuwe drinkwaterdistributietechnieken. Met een proeftuin wordt het mogelijk om innovatieve technieken te testen in een veilige omgeving en onder geconditioneerde en extreme omstandigheden. Hiermee beoogt Brabant Water

het vergroten van het innovatievermogen ten behoeve van een verbeterde drinkwatervoorziening. De gemeente Veghel heeft in 2017 een gebied van ca. 1 ha toegezegd waar Brabant Water voor ten minste de komende vijf jaar een proeftuin kan aanleggen. In een eerder speerpuntonderzoek voor Brabant Water (BTO 2017.019) heeft KWR verschillende mogelijke toepassingen voor de proeftuin

beschreven, waaronder toetsing van leidingmaterialen op levensduur, beoordeling van aanleg-, vervangings- en verwijderingstechnieken, toetsing van inspectietechnieken, ervaring opdoen met meet- en regeltechnieken en beoordeling van lekverliesbepalings- en lekzoekmethoden. Het hier beschreven bedrijfsonderzoek was gericht op selectie van de meest relevante onderzoeksideeën voor uitvoering in de proeftuin.

Aanpak: kennis verzameld over mogelijke experimenten, selectie verder uitgewerkt

In de eerste fase zijn zeven onderzoekthema's onderverdeeld in 23 onderwerpen. Ook zijn adviezen opgesteld rond kwaliteitsborging van de uit te voeren experimenten. Voor deze stappen is de literatuur en kennis uit voorgaande onderzoeksprojecten geraadpleegd.

In de tweede fase is een conceptueel ontwerp van de proefinstallatie uitgewerkt voor twee door Brabant Water geselecteerde onderzoekthema's. De uitwerking bestond uit het opstellen van aandachtspunten en randvoorwaarden van de twee thema's en een verkenning van bestaande en in ontwikkeling zijnde technieken en meetprincipes. Ook is onderzocht hoe de twee thema's zijn te realiseren op het beschikbare terrein.

Resultaten: twee proeftuinideeën geselecteerd en uitgewerkt - lekdetectie en temperatuurbeheer

Uit de zeven door KWR opgestelde onderzoekthema's selecteerde Brabant Water er twee voor uitwerking in de proeftuin:

- i. toetsing en vergelijking van detectietechnieken naar sluimerende leidinglekken met akoestische metingen en tracerassen
- ii. onderzoek naar invloedsfactoren en beheersmaatregelen voor hoge drinkwatertemperaturen.

Voor deze twee thema's heeft KWR aandachtspunten en randvoorwaarden beschreven. Hiermee is een conceptueel ontwerp opgesteld, bedoeld als basis voor het realiseren van een concreet en definitief ontwerp, inclusief een globale inrichting van de proeftuin in Veghel.

Implementatie: stappenplan voor aanleg van de proeftuin

Voor de aanleg van de proeftuin is het nodig het conceptuele ontwerp uit te werken tot een definitief ontwerp. Daarvoor is het nodig eerst de uit te voeren experimenten te prioriteren.

Vervolgens is het mogelijk een definitief ontwerp uit te werken door:

- te bepalen welke parameters worden gemeten en met welke meetinstrumenten;
- te bepalen of aanleg in de beschikbare ruimte is te realiseren en op welke termijn;
- de criteria te onderzoeken voor het slagen van de experimenten;
- een bouwtekening te maken en een componentenlijst op te stellen van de gehele installatie.

De aan te leggen proeftuin vormt een unieke omgeving voor het opdoen van nieuwe inzichten rond lekdetectietechnieken en drinkwatertemperaturen. De proefinstallatie is generiek van opzet en biedt in de toekomst tevens ruimte aan onderzoek naar een breed scala aan toepassingen op het gebied van drinkwaterdistributie.

Rapport

- Dit bedrijfsonderzoek voor Brabant Water is beschreven in rapport *Wetenschappelijke onderbouwing ontwerp proeftuin Veghel voor lekdetectie en warmte drinkwater* (BTO 2018.080).

Meer informatie

dr. Joost (J.R.G.) van Summeren

T +31 30 606 9667

E

Joost.van.Summeren@kwrwater.n

I

KWR

PO Box 1072

3430 BB Nieuwegein

The Netherlands



Meer informatie

dr. Joost (J.R.G.) van Summeren

T +31 30 606 9667

E

Joost.van.Summeren@kwrwater.n

I

KWR

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands



Inhoud

Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel van het onderzoek	5
1.3 Aanpak en leeswijzer	6
2 Vorming van onderzoeksideeën	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Overzicht van onderzoeksthema's	7
2.3 Advies rond kwaliteitsborging	7
2.4 Selectie en prioritering van onderzoeksideeën	7
2.5 Uiteindelijke selectie van onderwerpen voor onderzoek in de proeftuin	8
3 Ontwerp op hoofdlijnen	9
4 Detectie van sluimerende lekken	10
4.1 Achtergrond en doelstelling	10
4.2 Meetprincipes: lekdetectie o.b.v. akoestische signalen en tracergassen	10
4.3 Aandachtspunten en randvoorwaarden voor proeftuin en experimenten	11
4.4 Overzicht van lekdetectie-experimenten	15
4.5 Aandachtspunten lekverlies-experimenten	16
5 Onderzoek naar drinkwatertemperatuur	17
5.1 Achtergrond en doel	17
5.2 Aandachtspunten en randvoorwaarden van ontwerp en experimenten	18
5.3 Voorstel voor selectie van te onderzoeken omstandigheden	20
6 Conclusies en aanbevelingen	22
6.1 Conclusies	22
6.2 Aanbevelingen voor vervolgstappen	22
7 Literatuur	23
Bijlage I Overzicht van onderzoeksthema's en onderzoeksideeën (Memo I)	24
Bijlage II Advies kwaliteitsborging (Memo II)	28
Bijlage III Vastlegging en prioritering van onderzoeksideeën (Memo III)	31

**Bijlage IV Lekdetectie met sensoren voor akoestische
signalen en tracergassen**

36

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Brabant Water heeft halverwege 2017 de toezegging van gemeente Veghel gekregen om in de periode van 2018 tot en met 2022 grond met een oppervlakte van circa 1 ha, gelegen naast WPB Veghel te mogen gebruiken als proeftuin. De proeftuin kan een unieke faciliteit vormen om modellen of hypothesen uit het bestaande BTO programma te toetsen en innovatieve technieken van Brabant Water te beproeven. De proeftuin beoogt het vergroten van het innovatievermogen van Brabant Water om de drinkwatervoorziening te verbeteren.

Met een proeftuin wordt het mogelijk om in een veilige omgeving onder geconditioneerde en extreme omstandigheden innovatieve technieken te testen (Van Summeren, Van Thienen et al. 2015). De aanleg van een proeftuin is bewerkelijk, maar biedt een aantal voordelen ten opzichte van metingen in het bestaande leidingnet ("living labs"), numerieke modellen, en lab-installaties. Extreme omstandigheden geven nuttige informatie over de toepasbaarheid van innovaties en deze zijn in een proeftuin na te bootsen zonder dat het leidt tot overlast of risico voor klanten of de omgeving. Een proeftuin is geschikt voor het nabootsen van praktijksituaties, met inbegrip van zaken die typisch worden versimpeld in numerieke modelberekeningen, zoals de invloed van leidingverbindingen, turbulente mengeffecten, variaties van leidingeigenschappen zoals wandruwheid en realistische sensorrespons. Een installatie op laboratoriumschaal is minder omvangrijk en makkelijker te realiseren dan een proeftuin op werkelijke schaal. Een extra uitdaging voor schaalmodellen vormt echter de vertaling van experimentresultaten naar werkelijke dimensies. Het initiatief van Brabant Water om een proeftuin op werkelijke schaal te realiseren is in Nederland uniek.

Een proefinstallatie is interessant voor een breed scala aan toepassingen: toetsing van oude en nieuwe materialen, beoordeling van bestaande en innovatieve aanleg-, vervangings- en verwijderingstechnieken, toetsing van inspectietechnieken, ervaring opdoen met meet- en regeltechnieken, het beproeven van lekzoek- en lekverliesbepalingsmethoden, of onderzoek naar specifieke netwerkconfiguraties zoals zelfreinigende netten. In het kader van voorgaand speerpuntonderzoek van Brabant Water heeft KWR de mogelijke toepassingen van een proeftuin geïnventariseerd. In dat onderzoek zijn voor een aantal onderwerpen de aandachtspunten voor ontwerp in meer detail uitgewerkt: (i) ondiepe aanleg van leidingen, (ii) conditiebepaling van leidingen en (iii) innovatieve meetmethoden.

Brabant Water wil dat de inrichting van deze proeftuin geschiedt op een wetenschappelijke basis. Hiermee beoogt zij de kwaliteit en de toepasbaarheid van het onderzoek dat in de proeftuin uitgevoerd wordt te vergroten en daarmee de implementatie van innovatieve concepten te versnellen. Dit wil zeggen dat de proeven worden ingericht op basis van een onderbouwde theorie of hypothese die objectief en met voldoende betrouwbaarheid getest kan worden.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is het leggen van een wetenschappelijk fundament voor de inrichting van de proeftuin van Brabant Water te Veghel op het specifieke vakgebied van

nieuwe en in de praktijk toegepaste materialen, uitvoeringsmethoden en inspectietechnieken voor de ondergrondse waterinfrastructuur. Vanwege de wetenschappelijke kennis en expertise is KWR betrokken bij het ontwerp van de proeftuin. De nadruk van de activiteiten ligt op:

- adviseren bij de selectie van onderzoeksonderwerpen, gebruikmakend van inzichten uit het bedrijfstakonderzoek;
- vertalen van de probleemstelling en theoretische context naar een onderzoeksopzet en (conceptueel) ontwerp;
- adviseren over borging kwaliteit van metingen (representativiteit en nauwkeurigheid van de meetopzet, reproduceerbaarheid van de resultaten, implementeren van een evaluatiemethodiek om onderzoeksresultaten onderling te kunnen vergelijken).

1.3 Aanpak en leeswijzer

Het onderzoek bestaat uit twee hoofdfasen. De eerste fase beslaat de vorming en selectie van onderzoeksideeën. Voor deze fase heeft KWR drie memo's opgesteld die zijn opgenomen als Bijlagen 1, 2 en 3 en waarvan de hoofdpunten zijn beschreven in Hoofdstuk 2:

- Memo 1 (Bijlage I): Advies bij het selecteren van relevante onderzoeksonderwerpen door Brabant Water.
- Memo 2 (Bijlage II): Advies rond kwaliteitsborging op algemeen niveau: op welke wijze wordt de kwaliteit van analyseren, evalueren en rapporteren gewaarborgd.
- Memo 3 (Bijlage III): Vastlegging van de selectie en prioritering van onderzoeksideeën.

De tweede fase van het project bestaat uit wetenschappelijk advies en ondersteuning rond het conceptuele ontwerp van de proeftuin, geschikt voor onderzoek naar de in fase 1 geselecteerde onderzoeksideeën. De aandachtspunten en randvoorwaarden voor het ontwerp van de proefinstallatie en uit te voeren experimenten zijn vastgelegd in Hoofdstuk 3, 0 en 5. Hierin worden de geselecteerde onderzoeksideeën specifiek beschreven en schetsen op hoofdlijnen gepresenteerd voor de twee deelinstallaties. Het uitwerken van een technisch ontwerp (incl. lijst met onderdelen, kosten e.d.) en een beschrijving van praktische uitvoering (aanlegvolgorde, stroomvoorziening, verwerking van sensorgegevens) vormen geen onderdeel van het project. De conclusies en aanbevelingen voor vervolgactiviteiten staan beschreven in Hoofdstuk 6.

2 Vorming van onderzoekideeën

2.1 Inleiding

Het is de bedoeling van Brabant Water om de proeftuin ten minste voor een periode van 5 jaar te gaan gebruiken, mogelijk nog langer. Brabant Water kiest daarom voor een permanente basisstructuur, geschikt voor het aansluiten van deelinstallaties waarvan het ontwerp niet op voorhand vaststaat. Voor de beginfase wil Brabant Water twee deelinstallaties opnemen, gerelateerd aan twee onderzoekthema's. Dit hoofdstuk beschrijft het selectieproces van deze onderzoekthema's.

2.2 Overzicht van onderzoekthema's

Tijdens de eerste activiteit heeft KWR zes potentiële onderzoeksthema's geïdentificeerd, ter ondersteuning van het selectieproces. De thema's zijn onderverdeeld in een totaal van 23 subthema's. Het memo in Bijlage I beschrijft per onderzoeksthema de relevantie van de onderzoeksvraag en de mogelijke toepassing voor Brabant Water. Deze paragraaf beperkt zich tot een overzicht van de zes hoofdthema's:

- A. leidinginspectie;
- B. sensoren in het leidingnet;
- C. spanningen in en falen van leidingen;
- D. leidingmaterialen;
- E. aanleg/sanering van het leidingnet;
- F. exploitatie van het leidingnet.

2.3 Advies rond kwaliteitsborging

Memo II (Bijlage II) beschrijft een advies voor algemene criteria voor

- het opzetten van experimenten om innovaties te testen,
- het objectief beoordelen van resultaten en
- het volledig rapporteren en communiceren over experimenten.

De criteria zijn met opzet beschreven voorafgaand aan de vastlegging van de onderzoekthema's. Op deze manier zijn de criteria algemeen toepasbaar, ook voor in de toekomst te formuleren ideeën.

2.4 Selectie en prioritering van onderzoekideeën

Dit memo bouwt voor op de door KWR geformuleerde 23 onderzoekthema's, beschreven in memo I. Brabant Water heeft hieruit 4 ideeën geselecteerd (punt 1 t/m 4 in de lijst hieronder) en KWR heeft in afstemming met Brabant Water hier 2 ideeën aan toegevoegd (punt 5 en 6):

1. testen van nieuwe aanleg- en verwijderingstechnieken;
2. lange-duur testen van waterkwaliteitssensoren met oog op drift en vervuiling van sensoren;
3. detectie van sluimerende (kleine) lekken;
4. onderzoek naar invloedsfactoren en beheersmaatregelen ten aanzien van hoge temperaturen in het distributienetwerk;
5. gedrag van lekkage in een lining meten;

6. microbiologische besmetting door infiltratie bij lekkage/onderdruk of bij werkzaamheden

Memo III (Bijlage III) beschrijft voor elk van de zes thema's de probleemstelling, potentiële meerwaarde van het onderzoek voor Brabant Water en aandachtspunten voor globale inrichting van experimenten. Het zevende thema, beproeven van navigatie en dataoverdracht van autonome inspectierobots, wordt in het memo genoemd maar is niet in detail uitgewerkt. Dit hangt samen met het ontwikkelingstraject van de autonome robots: eventuele experimenten zijn pas vanaf 2019 relevant¹. Indien Brabant Water dit thema op korte termijn in de proeftuin wil onderzoeken, is het nodig om onderzoeksvragen af te stemmen met het AIR-project de plannen uit te werken en op te nemen in het ontwerp (o.a. voldoende ruimte vrijhouden op het terrein).

2.5 Uiteindelijke selectie van onderwerpen voor onderzoek in de proeftuin

Brabant Water selecteerde twee thema's voor onderzoek in de proeftuin Veghel (uit de selectie van zes, zoals beschreven in memo III):

- detectie van sluimerende (kleine) lekken;
- meten van de watertemperatuur voor het inschatten van risico's op hoge temperaturen.

Het is de bedoeling de twee onderwerpen op te nemen in het ontwerp van de proeftuin voor uitvoeren van experimenten in beginfase van de proeftuin. De overige vier onderwerpen kunnen eventueel in een later stadium worden uitgevoerd.

De aandachtspunten en randvoorwaarden voor het ontwerp van de proeftuin worden beschreven in Hoofdstuk 0 en 5.

Bij de proces van ideevorming is voor memo I en memo III afgeweken van de activiteiten zoals oorspronkelijk gedefinieerd in het projectplan:

- Waar het bij memo I de bedoeling was dat KWR zou adviseren bij een door Brabant Water opgestelde shortlist van ideeën, zijn de voorgestelde ideeën opgesteld door KWR en heeft Brabant Water hierop gereageerd.
- Waar memo III bedoeld was als vastlegging na een finale keuze door Brabant Water, was deze keuze op dat moment niet gemaakt. Om het keuzeproces te faciliteren heeft KWR in memo III een aantal keuzes verder uitgewerkt. Op basis hiervan heeft Brabant Water een finale keuze gemaakt.

¹ Door Brabant Water is voorgesteld om in de proeftuin in Veghel een ruimte in te richten voor proeven met autonome robots. Brabant Water is samen met andere Nederlandse waterbedrijven betrokken bij het AIR-project (Autonome Inspectie Robots). In 2019 worden proeven uitgevoerd om de AIR te testen op veiligheid, betrouwbaarheid en het herkennen van situaties in een representatief leidingnet (100-300 mm). Een eventueel ontwerp van een testopzet in de proeftuin in Veghel komt logischerwijs pas aan de orde nadat de proeven bij KWR zijn uitgevoerd. Daarbij is te denken aan het (verder) toetsen van voortbeweging, energieverbruik, data-overdracht en herkenning en mijden van probleemsituaties en recuperatie bij vastlopen.

4 Detectie van sluimerende lekken

4.1 Achtergrond en doelstelling

Sluimerende (in het algemeen kleine) lekken zijn moeilijk te detecteren met gangbare detectietechnieken. Met sluimerende lekken bedoelen we in dit rapport lekkages die ongerapporteerd blijven². Het kan gaan om achtergrondlekkage (niet-detecteerbaar met traditionele akoestische meetapparatuur) of ongerapporteerde lekkage (wel detecteerbaar met traditionele akoestische meetapparatuur).

Brabant Water wil in de proeftuin onderzoek uitvoeren naar de effectiviteit van detectie van lekken in leidingen en verbindingen met verschillende technieken en onder verschillende omstandigheden (leidingmateriaal, bodem, etc.). Gerelateerde onderzoeksvragen zijn:

- Welke lekgroottes zijn detecteerbaar en tot op welke afstanden?
- Zijn sluimerende lekken te lokaliseren en te identificeren?
- Wat is de invloed van grondsoort, grondwaterspiegel, leidingmateriaal, leidingdiameter, volumestroom op de kwaliteit van detectie?

Met detectie van sluimerende lekken beoogt Brabant Water een verkleining van het lekverlies. Met sluimerende lekken zijn weliswaar geen grote lekverliezen gemoeid, maar de lekken kunnen voor lange periodes onopgemerkt blijven en zo toch tot grote lekverliesvolumes leiden. De mogelijkheid van inkomende vervuilingen kan in principe een risico voor de volksgezondheidsrisico opleveren, maar Blokker, Moerman et al. (2016) maken aannemelijk dat dit risico voor de Nederlandse situatie erg klein is. Het detecteren van sluimerende lekken kan tevens een eerste stap betekenen in het voorspellen en voorkomen van uitgroei naar grotere lekken³.

4.2 Meetprincipes: lekdetectie o.b.v. akoestische signalen en tracergassen

Er wordt uitgegaan van een ontwerp waarbij het mogelijk is om met één proefopstelling verschillende meetprincipes te toetsen. Daarbij ligt de nadruk op toetsing van

- *Lekdetectie op basis akoestische signalen*
Akoestische signalen ontstaan als gevolg van het lek ontstaan en breiden zich uit via de omliggende bodem, de leidingwand en het drinkwater.
- *Lekdetectie m.b.v. tracergassen*
Lekdetectie o.b.v. tracergassen kan uitkomst bieden bij slecht detecteerbare akoestische leksignalen, bijvoorbeeld in geval van drukloze leidingen of kleine (sluimerende) lekken waarbij het akoestische signaal wegvalt tegen de

² Zie ook <http://www.leakssuite.com/concepts/analysis/>.

³ Brabant Water wil in dit stadium onderzoek naar de mechanismes en invloedsfactoren van uitgroei van sluimerende naar grotere lekken buiten het onderzoek houden. Onderzoek naar uitgroeiemechanismes is interessant voor toekomstig onderzoek, maar vergt een andere onderzoekaankpak met gedetailleerde monitoring scheurgroei en een langere tijdschaal van de experimenten Dit type onderzoek leent zich beter voor een lab-opstelling dan een proeftuin.

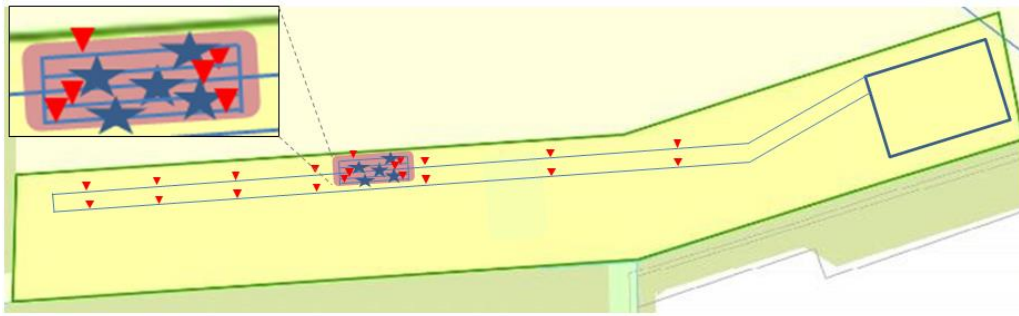
achtergrondruis. Bij dit principe wordt een ongevaarlijke tracergas vanuit een hoge-druk gascilinder ingebracht en opgelost in het water in de leiding waar een lek wordt vermoed. Het tracergas bestaat uit een mix van stikstof en waterstof (niet-toxisch en niet-corrosief), waarbij het aandeel waterstof (2 tot 10%) wordt aangepast aan de oplosbaarheid (afhankelijk van de temperatuur en druk van het water). Het oplossen in water duurt 5 tot 15 minuten in stromend water (0,15 tot 2,0 m/s) onder druk. Het is daarom van belang dat het gas wordt geïnjecteerd op voldoende afstand stroomopwaarts (30-90 meter afhankelijk van de stroomsnelheid) van het vermoedde lek. Het water-gas mengsel zal via het lek ontsnappen, waarna het gas zich afscheidt van het water en via de bodem opstijgt naar het oppervlak. Na ongeveer 0,5 tot 2 uur is het gas meetbaar aan het oppervlak. Om het lek te detecteren, wordt het gas aangezogen via een mobiele vacuümsonde en ter plekke geregistreerd met een waterstofdetector. De leiding kan in bedrijf blijven tijdens de meting.

Brabant Water heeft aangegeven in de toekomst ook lekdetectie met behulp van volumestroommeters te willen toetsen. Voortgaande ontwikkelingen om watermeters uit te rusten met AMR (automated meter reading) technologie verbeteren de kwantitatieve monitoring van het distributienet. Lekdetectie met AMR is in het verleden succesvol toegepast, nl. door in een DMA bij de ingang en/of bij klanten het verbruik te meten en discrepanties tussen een verwachting van het verbruik en de metingen (Romano, Kapelan et al. 2011, Farah& Shahrour 2018). Voor de proeftuin Veghel ligt het beproeven van een dergelijke methode minder voor de hand: de methodiek is ongeschikt is voor detectie van sluimerende lekken, omdat dergelijke kleine lekken slechter dan grote lekken zijn te onderscheiden van natuurlijke verbruiksvariaties. De methodiek is bovendien ook in het bestaande leidingnet te beproeven. Om deze redenen is aan het meetprincipe met volumestroommeters geen verdere aandacht besteed in dit project. Het voorgestelde ontwerp is in principe geschikt om volumestroommeters rond een lek te plaatsen. Het uitgangspunt is echter een enkelvoudige leiding, geen DMA structuur.

4.3 Aandachtspunten en randvoorwaarden voor proeftuin en experimenten

Een installatie voor nabootsing van ondergrondse lekken schept een unieke testomgeving om de efficiëntie van verschillende lekdetectietechnieken en invloedfactoren, inclusief type grondsoort, te onderzoeken onder gecontroleerde praktijkomstandigheden. Aandachtspunten en randvoorwaarden voor een ontwerp en experimenten zijn opgesteld op basis van (i) mogelijkheden van de beoogde technieken, (ii) de huidige stand van zaken in de literatuur en (iii) de wensen van Brabant Water. Een overzicht van technieken voor lekdetectie met akoestische sensoren en tracergassen wordt gegeven in Bijlage IV. Dit overzicht heeft niet als doel om volledig te zijn, maar om voldoende informatie te bieden voor het opstellen van randvoorwaarden.

Het verdient aanbeveling rekening te houden met de volgende aandachtspunten en randvoorwaarden. Een globale en schematische voorstelling van de lekdetectie-installatie die hierbij aansluit is weergegeven in Figuur 4-1.



Figuur 4-1. Schematische visualisatie van een proefinstallatie voor lekdetectie, met basisleiding (blauwe rechthoek), leidinglus (dunne blauwe lijnen), oppervlak mogelijk tot ingraven van leidingen (bruine rechthoek), ondergrondse lekken (blauwe sterren) en contactpunten (rode driehoeken).

- *Combineer in één opstelling toetsing van beide meetprincipes (akoestische sensoren en tracergassen)*
Gebruik een enkelvoudige, doorstroombare lus met een voorziening tot leksimulatie en detectie, geschikt voor beide meetprincipes. Water wordt gecirculeerd door twee rechte leidingstukken van minimaal 100 meter, aangesloten op de hoofdstructuur. Gebruik een (enigszins arbitraire) tussenafstand van minimaal 3 meter om onderlinge akoestische invloed van de leidingen te voorkomen.
- *Leidingdiameter: van 200 tot 300 mm*
Deze diameters zijn geschikt voor toetsing van de meeste akoestische detectietechnieken uit Tabel 3. Een uitzondering is de Syrinix-apparatuur die geschikt is voor transportleidingen. Leidingen van 200 mm komen in de praktijk meer voor, maar 300 mm leidingen veroorzaken grotere problemen indien een sluimerend lek uitgroeit tot een groter lek. Voor lekdetectie met tracergassen geldt geen diametergrenswaarde, maar voor kleinere diameters is gas makkelijke en sneller op te lossen in het water.
- *Leidingmateriaal: PVC*
Gebruik alleen PVC om het aantal lekdetectie-experimenten te beperken. Het type leidingmateriaal is van invloed op de voortplanting en wellicht ook het genereren van het akoestisch signaal. PVC is het meestvoorkomende materiaal bij Brabant Water (en andere waterbedrijven). PVC is een slechte geleider van geluid en dit heeft als voordeel dat een uitdagende situatie wordt getest. Het materiaaltype is niet van belang voor experimenten met detectie met tracergassen.
- *Leidinglengte van minimaal 100 m*
Gebruik een leidinglengte van ten minste 100 m om de detectieafstand van verschillende technieken te toetsen. Hoewel een korte leidinglengte (ca. 10 m) volstaat voor technieken waarbij de akoestische sensor langs een lek beweegt (Bijv. SmartBall, AIR) is een langere lengte (minimaal 100 m) nodig voor technieken waarbij meters op contactpunten (afsluiters of hydranten) worden geplaatst. Voor lekdetectie met tracergassen geldt in principe geen diametergrenswaarde. Met een lange detectiebuis zijn alle detectietypes te toetsen.

- *Leidingdiepte: 1 m*
Dit is de gebruikelijke aanlegdiepte bij Brabant Water. Ingegraven leidingen garandeert een realistische invloed van grond rondom een leiding op het akoestische leksignaal.
- *Hydranten als contactpunten en doseerpunten*
Plaats contactpunten voor sensoren voor een aantal akoestische detectietechnieken. Dit kunnen hydranten en afsluiters zijn, maar hydranten zijn tevens te gebruiken als doseerpunt voor tracergassen. Beperk de afstand tussen contactpunten tot ca.10 m. Plaats twee hydranten die nodig zijn voor een specifiek experiment. Om op verschillende afstanden tot het lek te kunnen meten is het nuttig om vooraf meetlocaties te bepalen en daar vooraf aansluitpunten te realiseren. Deze aansluitpunten kunnen tevens worden gebruikt om obstakels zoals appendages in te brengen die het akoestisch signaal kunnen verstrooien het effect hiervan op detectie te onderzoeken.
- *Lekinstallatie.*
Voorzie in een installatie om ondergrondse lekken in leidingen en op leidingverbindingen na te bootsen. Het beproeven van verschillende lekken in één aanlegcyclus vermindert het aantal graafwerkzaamheden. Dit wordt mogelijk door verschillende leidinglekken parallel aan te leggen (zie Figuur 4-1, bruine rechthoek). Plaats afsluiters voor doorstroming van leidingen naar keuze. Plaats multi-joints om demontabele proefstukken aan te brengen. Graaf het gebied uit tot 2 meter diepte indien verschillende grondsoorten worden beproefd. Mondstukken ("nozzles") volstaan voor de metingen met tracergassen. Voor akoestische detectie is een lek in de leidingwand van belang (geprepareerd of uit de praktijk).
- *Validatie van lekverliezen.*
Voor het beoordelen van de efficiëntie van detectietechnieken is het nodig om het lekverlies tijdens een experiment te kennen. De experimenten zijn immers bedoeld om het presteren van verschillende technieken te toetsen bij verschillende lekvolumes. Voor kleine lekverliezen van ingegraven leidingen is dit niet triviaal, omdat het lekverlies niet direct is op te vangen en alleen indirect kan worden gemeten met sensoren met een eindige meetnauwkeurigheid. Hieronder worden de voor- en nadelen beschouwd van drie mogelijke voorzieningen om ondergronds lekverlies te bepalen:
 - a) Volumestroomverschilmeting (Figuur 4-2a)
 - Sluit de leiding bovengronds aan op een gangbare druk
 - Bepaal het lekverlies (bijvoorbeeld door water op te vangen gedurende een vaststaande periode en zo de volumestroom te bepalen)
 - Bepaal het lekverlies met het verschil van een volumestroommeting vóór en ná het lek
 - Kalibreer de volumestroomverschilmeting met de directe meting totdat voldoende vertrouwen is in de verschilmeting; kies volumestroommeters met een meetbereik passend bij het te toetsen lekverlies
 - Gebruik de gevalideerde verschilmeting vervolgens tijdens experimenten met ingegraven leidingen.
 - Deze methodiek is gevoelig voor meetfouten of sensordrift en wordt best gevalideerd middels tussentijdse herkalibratie of redundante uitvoering. Om deze redenen is moeilijk op voorhand aan te geven of het gebruik van

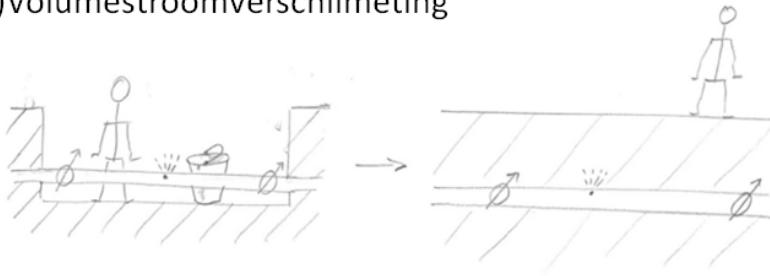
flowmeters geschikt is voor detectie van sluimerende lekken. De validatiemetingen kunnen hier meer inzicht in geven.

- b) Bepaling o.b.v. waterbalans in een doodlopende leiding aangesloten op een reservoir (Figuur 4-2b)
 - Sluit op de leidinglus een reservoir op hoogte aan (kleine watertoren).
 - Sluit afsluiters zodat het reservoir een doodlopende tak voedt met daarin een lek.
 - Leid het lekverlies af uit het water dat het reservoir verlaat. Om grote drukvariatie tijdens de meting te voorkomen, wordt een reservoir met een diameter van ten minste 400 mm aanbevolen.
 - Na de bepaling kan het reservoir weer worden afgeschakeld en in circulatiestand worden gezet.
- c) Bepaling o.b.v. waterbalans in een leiding met bekisting (Figuur 4-2c)
 - Vang het lekverlies op in een ondergrondse, afgesloten reservoir (bak, kist, of mantelbuis).
 - Realiseer een constant grondwaterniveau en voer het lekverlies af met een tapvoorziening en bepaal daarbij de volumestroom. Aandachtspunten bij deze methode zijn: (i) bereiken van een steady state, (ii) filteren van tapwater om uitspoeling te voorkomen.

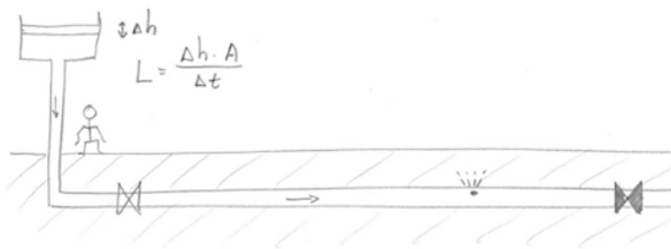
Vanwege de praktische bezwaren bij de bekisting (optie c), wordt de aanpak met volumestroommeters (a) of een drukreservoir (b) aanbevolen. In beide gevallen ligt de leiding ingegraven zonder omsluitende bekisting ingegraven en kan het lekwater vrij uitstromen.

Schat het gewenste meetbereik vooraf in en voorzie in een serie volumestroommeters met een bijbehorend, onderling overlappend meetbereik. Houd daarbij rekening met een ruime marge voor de grenzen van het meetbereik, i.v.m. het toetsen van verschillende lekverliesvolumes en de invloed op het lekverlies van de drinkwaterdruk en tegendruk van ondergrond en grondwater.

a) Volumestroomverschilmeting



b) Balans in doodlopende leiding



c) Balans in leiding met bekisting



Figuur 4-2. Drie methoden voor het bepalen van ondergronds lekverlies. Zie de tekst voor de beschrijving. “L” in paneel b) staat voor het lekverlies.

4.4 Overzicht van lekdetectie-experimenten

Tabel 1 geeft een overzicht van in de proeftuin te beheersen invloedsfactoren, samen met aandachtspunten rond de realisatie van bijbehorende experimenten. Een groot aantal combinaties, c.q. experimenten, is mogelijk. Om het aantal experimenten beheersbaar te houden moet een prioritering worden gemaakt. KWR stelt voor om uit te gaan van één type grondsoort (zand), leidingmateriaal (PVC) en -diameter (300 mm). Dit vergroot de mogelijkheden om verschillende lekverliesgroottes en lektypes te beproeven.

Tabel 1. Invloedsfactoren voor lekdetectie.

Invloedsfactor	Parameter	Realisatie	Opmerkingen
Lekverliesgrootte	Ondergrens: 0 l/u. Bovengrens: arbitrair, maar boven het gedocumenteerd detectieniveau van de technieken. Advies: min. 10 l/u.	Prepareer vooraf leidinglekken met verschillend lekoppervlak	
Lektype	Puntlek, lengtescheur, verbinding uit elkaar geschoven, rubber afdichting kapot, flenspakking beschadigd, kapotte lasverbinding. PVC	Prepareer vooraf verschillende type lekken in leidingen en verbindingen	
Leidingmateriaal Leidingdiameter	Van 200 tot 300 mm	Leidingen vervangen	Lekdetectietechnieken werken optimaal binnen een bepaald diameterbereik. Een prioritering van technieken is diameter-specifiek.
Grondsoort	Zand, klei	Oppervlakte rondom leiding uitgaven	Om de invloedsfeer van de grondsoort rondom het lek te kennen, wordt aanbevolen de grootte (lengte, breedte, diepte) van het omhullende pakket te variëren.
Grondwaterstand	Boven/onder de leiding	Beheersen met behulp van drainage / sproeien	

4.5 Aandachtspunten lekverlies-experimenten

Voor lekdetectie-experimenten worden de volgende aandachtspunten genoemd:

- Selecteer de te onderzoeken detectietechnieken.
- Selecteer een set lektypes en kies de lekverliesvolumes.
- Valideer de lekverliesvolumes (zie paragraaf 4.3).
- Test per onderzoeksopzet alle detectietechnieken. Archiveer de testomstandigheden en meetresultaten (zie memo II, Bijlage II).
- Analyseer de resultaten:
 - Bepaal of een lek succesvol wordt gedetecteerd.
 - Bepaal (indien relevant voor de geselecteerde techniek) de locatie van het lek, de nauwkeurigheid van de locatiebepaling, en het lekverlies.
 - Vergelijk de resultaten van verschillende proeven om technieken te vergelijken en de invloed van omgevingsfactoren te bepalen.

5 Onderzoek naar drinkwatertemperatuur

5.1 Achtergrond en doel

In uitzonderlijke omstandigheden wordt de temperatuurnorm van 25°C voor drinkwater aan de tap overschreden (Versteegh & Dik 2007). Door verstedelijking en klimaatverandering zal in de toekomst het risico op overschrijdingen toenemen. Het doel van de beoogde experimenten in de proeftuin is:

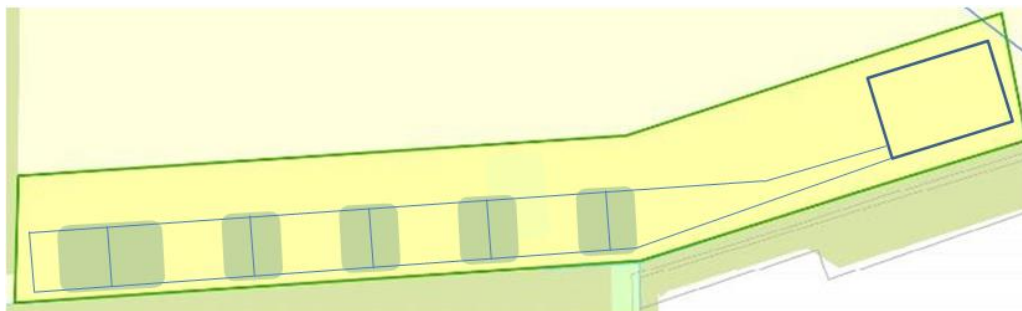
- onderzoek welke factoren (te) hoge temperaturen bepalen;
- onderzoek welke beheersmaatregelen effectief zijn om hoge temperaturen te voorkomen.

In het bedrijfstakonderzoek heeft KWR een bodemtemperatuurmodel ontwikkeld en stapsgewijs uitgebreid (Blokker & Pieterse-Quirijns 2013; Agudelo-Vera 2017). De modelresultaten tonen aan dat het drinkwater op de in de meeste situatie binnen enkele uren de temperatuur van de ondergrond aanneemt. Ook zijn met bigdata-methoden relaties tussen drinkwatertemperatuur en omgevingsgegevens bepaald, waaruit het belang van weerfactoren wordt bevestigd (Van Summeren, Vries et al. 2017). Metingen in de proeftuin zijn nuttig voor verdere verfijning van de modellen, bijv. om gericht de invloed van grondwater of antropogene bronnen vast te stellen. In voortgaand bedrijfstakonderzoek is gedemonstreerd dat de maximale bodemtemperatuur toeneemt met afnemende afstand tot een ondergrondse warmtebron (Agudelo-Vera, 2017). Omdat ondergrondse bronnen logischerwijs temperatuurvariaties op zeer lokaal niveau (< meterschaal) veroorzaken, is het voor het onderzoeken van de invloed van dergelijke bronnen wenselijk om quasi-continue temperatuurprofielen te meten, met een ruimtelijke resolutie van minder dan 1 meter.

Het bepalen van het belang van verschillende factoren is een actief onderzoeksgebied. Dit is echter niet triviaal vanwege het complexe samenspel van verschillende factoren gerelateerd aan weertype (luchttemperatuur, zonneshijnduur, bewolgingsgraad, e.d.), oppervlaktegebruik (stedelijke omgeving, schaduw, begroeiing), bodem (o.a. grondsoort en grondwaterstand) en ondergrondse warmtebronnen (transformatoren, energiekabels, warmtenetten). Aan de University of Sheffield wordt gewerkt aan een installatie (onderdeel van ICAIR¹, Integrated Civil and Infrastructure Research Centre). De installatie bestaat uit een met fijn zand (2-3 µm) gevulde bak van 30 m lang, 5 meter diep en 3 meter breed in een proefhal. De installatie bevat PE drinkwaterleidingen en heeft de mogelijkheid om stromend grondwater na te bootsen. De installatie is geschikt voor onderzoek naar warmteoverdracht tussen warmteleiding en drinkwaterleidingen en het effect van (stromend) grondwater op de warmteoverdracht. Omdat de installatie relatief klein is en binnen staat, zijn de mogelijkheden om een veldomgeving na te bootsen beperkt (maar de mogelijkheden om de omstandigheden te beheersen zijn groter). Met de proeftuin Veghel wordt het mogelijk om omstandigheden afzonderlijk van elkaar sterk te variëren of juist constant te houden en zo inzicht te geven in het ontstaan van hotspots en de potentie van beheersmaatregelen.

5.2 Aandachtspunten en randvoorwaarden van ontwerp en experimenten

Voor onderzoek naar drinkwatertemperatuur, zoals beschreven in paragraaf 5.1, worden de volgende punten aangemerkt voor een proeftuin:



Figuur 5-1. Schematische visualisatie van een proefinstallatie voor onderzoek naar drinkwatertemperatuur, met basisleiding (blauwe rechthoek), leidinglus met aftakkingen (dunne blauwe lijnen) en testbedden met nagebootste oppervlaktegebruik, bodemomstandigheden en leidingeigenschappen (groene rechthoeken).

- *Gebruik afzonderlijke testbedden voor verschillende omstandigheden*
Leg afzonderlijke testbedden (of ‘-velden’) aan om de invloed van verschillende omstandigheden te onderzoeken. Een voorstel voor de indeling is getoond in Figuur 5-1.
- *Onderzoek de invloed van de testbedgrootte.*
Bepaal het effect van type oppervlaktegebruik en breedte van het betreffende oppervlak op de drinkwatertemperatuur. Dit geeft inzicht in de effectiviteit van oppervlaktegebruik om het risico op hotspots te beperken. Meet de temperatuur ook *tussen* verschillende testbedden. Analyseer de temperatuurmetingen en bepaal de optimale breedte en tussenruimte van testbedden. Afhankelijk van deze analyse wordt het aantal testbedden aangepast. Omdat de optimale breedte niet op voorhand vaststaat, zullen hiervoor een aantal breedtes naast of na elkaar moeten worden getest. Een strookbreedte (aan weerszijden) gelijk aan de leidingdiepte (ca. 1 meter) is een redelijk startpunt.
- *Meet de temperatuur met glasvezelkabels*
Een goed inzicht in de temperatuur aan de oppervlakte, in de bodem en in de leiding is van belang voor het zowel het inzicht in warmte-uitwisseling als de bepaling van tijd die nodig is voor het instellen van een thermisch evenwicht (afgezien van dagelijkse variaties). KWR stelt voor om een ruimtelijke resolutie toe te passen van ca. 1 meter in de horizontale richting en ca. 0,25 meter in de verticale richting. Dergelijke intensieve temperatuurmetingen zijn uit te voeren met reguliere temperatuurmeters. Dit wordt echter steeds duurder en bewerklijker naarmate een hogere ruimtelijk resolutie is gewenst. Een alternatief is om quasi-continue metingen te realiseren met glasvezelkabels en een bijbehorend Distributed Temperature Sensing -systeem voor het versturen en ontvangen van lasersignalen. De kabels zijn geschikt voor metingen in lucht, grond en water. Ze dienen goed gefixeerd te worden, zodat altijd op dezelfde positie wordt gemeten. Er moet rekening worden gehouden met enkele tienduizenden euro's voor een meetvoorziening met glasvezelkabels. Door op

- verschillende dieptes de grondwatertemperatuur te meten, is aanleg van leidingen op verschillende dieptes in principe overbodig.
- *Realiseer experimenten met stilstaand en stromend water*
 - Gebruik stilstaand water om lange-termijn effecten te onderzoeken, zoals effecten van oppervlaktegebruik, grondsoort en weersomstandigheden). Er moet rekening gehouden worden met een periode van een aantal weken voordat zich een thermische evenwicht in de ondergrond instelt. Deze tijd is afhankelijk van de afmetingen van het testbed, bodemtype en de aanwezigheid van grondwater. De equilibratietijd dient vooraf analytisch te worden ingeschat . en met testmetingen te worden gevalideerd.
 - Realiseer de mogelijkheid om te circuleren door bij de elke leiding onder een testbed twee afsluiters te plaatsen. Met deze voorziening is het water na elke proef te verversen en temperatuureffecten in stromend water onderzoeken.
 - *Gebruik natuurlijke variaties in weersomstandigheden*

Ga uit van natuurlijke veranderingen in de weersomstandigheden luchttemperatuur, zonnestraling, en windsterkte i.p.v. deze kunstmatig na te bootsen. Dit uitgangspunt volgt uit speerpuntonderzoek van Brabant Water uitgevoerd door KWR (Van Summeren, 2015), waarin werd geconcludeerd dat een instelbare grondtemperatuur praktisch onhaalbaar is. Een uitzondering de nabootsing van schaduwvorming (en windluwte) door gebruik te maken van een afdekzeil over een testbed. Registreer de gegevens en sla deze op.
 - *Test verschillende oppervlaktebedekkingen*

Voorzie in testbedden met tegels, asfalt, gras of andere begroeiing. Onderzoek of er innovatieve oppervlaktebedekkingen met een koelende werking op de markt zijn.
 - *Test verschillende bodemsoorten*

Start met de experimenten met de aanwezige grondsoort in de proeftuin Veghel (zandgrond). Indien gewenst: voer proeven uit met een ander grondsoorttype door de grond onder het testbed en de directe omgeving af te graven. De hoeveelheid af te graven grond hangt samen met de invloedssfeer van het testbed (zie het tweede punt in deze lijst).
 - *Realiseer de mogelijkheid tot doorstroming.*

Ga uit van stilstaand water om de lange termijn effecten te onderzoeken. Circulatie moet wel mogelijk zijn, ten behoeve van verversing op het eind van een proef en het effect van turbulentie na te bootsen.
 - *Varieer en meet de grondwaterspiegel en bodemvochtigheid*

Gebruik het drainagesysteem en afdekking van de grond met zeil om een “droogsituatie” na te bootsen (grondwaterspiegel beneden leidingdiepte). Creëer een “natsituatie” tijdens regenachtige periodes. Uit experimenten met een proefinstallatie van Deltares is bekend dat grondwater een invloed heeft op de temperatuur, maar dat convectie in het grondwater van ondergeschikt belang is. Meet de grondwaterspiegel met peilbuizen en de vochtigheid met vochtmeters.
 - *Onderzoek het effect van ondergrondse warmtebronnen.*

Onderzoek de invloedssfeer van een warmtebron (zowel een punt- als een lijnbron). Wat is de respons en responstijd op een temperatuurverandering bij de bron van het water in een nabijgelegen drinkwaterleiding. Meet voorafgaand aan proeven met stromend water ter validatie eerst in stilstaand water. Onderzoek hoe ver stroomop-/afwaarts is de respons nog merkbaar is in de drinkwaterleiding.

5.3 Voorstel voor selectie van te onderzoeken omstandigheden

Ook bij dit onderzoeksthema bestaan er veel combinaties van te onderzoeken omstandigheden. Tabel 2 geeft hiervan een overzicht. De testbedden zijn uitbreidbaar en opnieuw in te richten, na afronding van een serie proeven. In verband met de eindige ruimte van de proeftuin is het echter belangrijk om te prioriteren. KWR stelt voor te beginnen met zes combinaties van drie typen oppervlaktegebruik (gras, asfalt, tegels) en twee typen bodemsoorten (zand, klei). Een aantal andere invloedsfactoren kunnen zonder extra testbedden worden gerealiseerd:

- Grondwaterstand (via drainage);
- natuurlijke weersomstandigheden en (kunstmatige) schaduwvorming;
- invloed van ondergrondse warmtebronnen.

Tabel 2. Invloedsfactoren voor temperatuuronderzoek.

Invloedsfactor	Parameter	Realisatie	Opmerkingen
Zonnestraling	Zonne-instraling (W/m ²), wel/geen schaduw	Gebruik KNMI-gegevens zonnestraling met pyranometers en maak een voorziening voor schaduwvorming	Omdat weersinvloeden met een tijdsvertraging inwerken op de bodem- en drinkwatertemperatuur, is opslag van de meethistorie van groot belang voor de analyse.
Luchttemperatuur		Meet aan het oppervlak met thermometers	Idem.
Windsterkte		KNMI-gegevens, aangevuld met windmetergegevens aan het oppervlak	Idem
Regenval		KNMI-gegevens aangevuld met pluviometer-gegevens	Idem
Bewolgingsgraad		KNMI-gegevens	Idem
Oppervlaktegebruik	Gras, struiken, bomen, tegels, water, asfalt ⁴ .	Aanleg op de grond.	Inzicht in de ruimtelijke invloedsfeer van het oppervlaktegebruik is van belang: de invloedsfeer wordt niet meegenomen in de bodemtemperatuurmodellen van KWR. Voor eventuele risicoreductiemaatregelen tegen hotspots is het van belang te weten hoe breed een strook met aangepast oppervlaktegebruik moet zijn om effect te hebben op ca. 1 meter diepte. Warmtetransportkarakteristieken zijn goed gedocumenteerd, maar sterk afhankelijk van bodemvocht.
Grondtype	Zand, klei	Uit- en ingraven	
Grondwaterstand	Diepteniveau	Regelen met drainage en besproeiing	
Leidingmateriaal	PVC, PE, Nodulair gietijzer		

⁴ Het nabootsen van realistische hoogbouw gaat gepaard met een grote inspanning en wordt verder niet besproken in dit rapport.

Waterstroming	Snelheid	Stilstaand water of doorstromen met een constante snelheid	Een interessante vraag is hoe lang/ver is de invloed van een warmtebron of warm oppervlak merkbaar is? Dit vergt een opstelling (orde : honderden meters) met doorstroming. Invloed van diepte is voor simpele configuraties theoretisch te bepalen.
Ondergrondse warmtebronnen	Transformator, energiekabel, warmteleiding	Aanleggen onder de grond.	
Leidingdiepte	Bijv. 80, 100, 120 cm		

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In het eerste deel van dit project heeft KWR onderzoekideeën voor de proeftuin Veghel opgesteld (Hoofdstuk 2). In samenspraak met Brabant Water zijn de ideeën stapsgewijs verder uitgewerkt. Dit proces heeft bijgedragen aan de selectie door Brabant Water van twee geschikte onderzoekthema's: (i) detectie van sluimerende lekken en (ii) onderzoek naar invloedsfactoren en beheersmaatregelen ten aanzien van hoge drinkwatertemperaturen.

In het tweede deel van dit project zijn aandachtspunten en randvoorwaarden opgesteld voor de proeftuin en uit te voeren experimenten (Hoofdstuk 3, 0, 5). Het voorgestelde conceptuele ontwerp beoogt de ontwikkeling van een testomgeving voor:

- toetsing en vergelijking van detectietechnieken naar sluimerende leidinglekken met akoestische metingen en tracergassen onder beheersbare praktijk omstandigheden;
- Onderzoek naar de invloedsfactoren van (te) hoge drinkwatertemperaturen en beheersmaatregelen.

6.2 Aanbevelingen voor vervolgstappen

In Hoofdstukken 0, en 5 zijn een aantal voorstellen gedaan voor het ontwerp en uit te voeren experimenten. Deze zijn bedoeld om het aantal keuzemogelijkheden te verkleinen. Om tot een concreet ontwerp te komen, zijn de volgende stappen nodig:

- prioriteer de uit te voeren experimenten voor beide onderzoekthema's,
- werk een definitief ontwerp uit:
 - o bepaal welke parameters worden gemeten en met welke instrumenten.
 - o bepaal of aanleg in de beschikbare ruimte is te realiseren en op welke termijn.
- onderzoek de criteria voor het slagen van de experimenten
- maak een bouwtekening en stel een componentenlijst op van de gehele installatie.

7 Literatuur

Agudelo-Vera, C. M. (2017). Hotspots in het leidingnet, KWR Watercycle Research Institute. BTO 2017.023.

Blokker, E. J. M., Moerman, A., Smeets, P.W.M.H. (2016). QMRA van het distributienet, KWR Watercycle Research Institute. BTO 2016.017.

Blokker, E. J. M. & E. J. Pieterse-Quirijns (2013). "Modeling temperature in the drinking water distribution system." Journal - American Water Works Association 105(1): E19-E29.

Farah, E. & I. Shahrour (2018). "Smart water technology for leakage detection: feedback of large-scale experimentation." Analog Integrated Circuits and Signal Processing. <https://doi.org/10.1007/s10470-018-1137-1>.

Romano, M., Kapelan, Z. Savić, D.A. (2011). Real-time leak detection in water distribution systems. 12th Annual Conference on Water Distribution Systems Analysis (WDSA), Tuscon, AZ, U.S.A.

Van Summeren, J., Van Thienen, P., Van Nieuwenhuijze, R., Trietsch, E. (2015). "Living labs, proeftuinen en proefinstallaties voor onderzoek naar nieuwe drinkwaterdistributiesystemen." H2O-Online. 21 oktober 2015.

Van Summeren, J., Vries, D., Albert, M., verbree, J.-M. (2017). Analyse van 'slimme meter'-data voor het in kaart brengen van hotspots in het distributienet, KWR Watercycle Research Institute. BTO 2017.059.

Versteegh, J.F.M. & H.J.J. Dik (2007). The quality of drinking water in the Netherlands in 2006. RIVM report 703719022.

Bijlage I Overzicht van onderzoeksthema's en onderzoeksideeën (Memo I)

Bestemd voor: Marie-Louise van Loon (Brabant Water)
Betreft: Inrichting Proeftuin Veghel, memo 1 en 2
Van: Ralph Beuken, Joost van Summeren
Datum: 21 maart 2018

Brabant Water wil in 2018 in de gemeente Veghel een proeftuin aanleggen, om innovatieve technieken of werkmethoden in de praktijk te beproeven. Voor een proeftuin is een locatie nodig om in een veilige omgeving en onder geconditioneerde en extreme omstandigheden oude en nieuwe materialen, netwerkconfiguraties, aanleg- en verwijderingstechnieken, inspectietechnieken, lekverlies en meet- en regeltechnieken te testen.

Brabant Water wil dat de inrichting van deze proeftuin geschiedt op een wetenschappelijke basis. In het BTO-Bedrijfsonderzoek voert KWR het project Inrichting Proeftuin Veghel uit, om Brabant Water te adviseren bij de selectie van onderzoeksonderwerpen, de probleemstelling en theoretische context te vertalen naar een onderzoeksopzet en (conceptueel) ontwerp en om te adviseren over borging de kwaliteit van de metingen (representativiteit en nauwkeurigheid van de meetopzet, reproduceerbaarheid van de resultaten, implementeren van een evaluatiemethodiek om onderzoeksresultaten onderling te kunnen vergelijken).

De opbrengsten van dit project zoals verwoord in het projectplan zijn, naast een rapport, drie memo's die KWR in de loop van het project opstelt. De opzet van de memo's zoals besproken in het projectplan is:

- Memo 1: Advies bij het selecteren van relevante onderzoeksonderwerpen door Brabant Water.
- Memo 2: Advies rond kwaliteitsborging op algemeen niveau: op welke wijze wordt de kwaliteit van analyseren, evalueren en rapporteren gewaarborgd.
- Memo 3: Vastlegging van de selectie en prioritering van (ongeveer 5) onderzoeksideeën, te kiezen door Brabant Water.

In deze memo (Memo 1) geeft KWR een overzicht van relevante onderzoeksonderwerpen. Deze onderzoeksonderwerpen zijn op de volgende pagina's weergegeven.

Overzicht met onderzoeksthema's en onderzoeksideeën**Onderzoeksthema A: Leidinginspectie**

Onderzoeksidee	Onderzoeksvraag	Mogelijke toepassing voor BW	Opmerking
Metingen van degradatie met autonome robots	In hoeverre kan de degradatie van een leiding effectief worden gemeten met een autonome robot?	Bewezen toepassing van autonome robot in leidingnet BW.	Dit betreft de degradatie van de leiding en de verbinding. Aanbrengen bekende verstoringen in het leidingnet <=300 mm. Eventueel vergelijking met andere inspectietechnieken.
Metingen van degradatie met pigs	In hoeverre kan de degradatie van een leiding effectief worden gemeten met pigs?	Bewezen toepassing van pigs in leidingnet BW.	Dit betreft de degradatie van de leiding en de verbinding. Aanbrengen bekende verstoringen in het leidingnet >=300 mm. Eventueel vergelijking met andere inspectietechnieken.
Metingen van de locatie van leidingen	In hoeverre kan de locatie (XYZ) van een leiding goed worden gemeten (welke precisie kan worden gehaald), inclusief het inmeten van reparatiestukken, aftakkingen, etc?	Locatiebepaling van leidingen binnen door BW gestelde normen.	Opzetten van een leidingnet met een bekende ligging waar meerdere technieken getoetst kunnen worden (incl. robots en pigs)
Scheurontwikkeling	Hoe ontwikkelt een kleine, met bestaande technieken niet op te merken scheur zich in de tijd tot een grote scheur met impact op de omgeving en/of levering als functie van materiaal en hydraulische condities?	Inzicht in de tijd die nodig is voor scheurontwikkeling bij verschillende materialen en in verschillende omstandigheden. Daarmee beter inzicht in kritische leidingen.	Scheurontwikkeling hangt af van de erosie door het uitstromende water en bij kunststoffen van de optredende spanningen rondom de scheur. Hier nog nader uitzoeken of dit het beste bij de proeftuin leidt of dat dit (deels) in een labomgeving uitgevoerd moet worden.

Onderzoeksthema B: Sensoring in leidingen

Onderzoeksidee	Onderzoeksvraag	Mogelijke toepassing voor BW	Opmerking
Lekdetectie	Kunnen lekken van een bepaalde omvang met voldoende betrouwbaarheid gedetecteerd worden	Inzet van lekdetectie door BW	Aanbrengen van lekken van verschillende omvang en in verschillende omstandigheden (leidingmateriaal, bodem, etc.) die met verschillende technieken opgespoord worden.
Waterkwaliteit: temperatuur	Kan de temperatuur van het water nauwkeurig in verschillende omstandigheden voorspeld worden?	Berekenen impact van omgevingsvariabelen op watertemperatuur en hotspots. Dit levert ook informatie op over de benodigde diepteligging van leidingen.	Aanbrengen van verschillende situaties (bodem, bedekking, leidingmateriaal, diepten, hydraulica, schaduwvorming, elektriciteitskabels, reducerende maatregelen, etc) om modellen te valideren/verbeteren.
Noot: Bovenstaande idee is voor de volledigheid opgenomen. Uitvoering lijkt op dit moment minder opportuun aangezien dit in het te starten TKI-project "Warmteoverdracht drinkwaterleidingen" wordt onderzocht.			
Waterkwaliteit: deeltjes	Wat is de impact van verstoringen op de troebelheid/deeltjesaantal in leidingen?	Richtlijnen voor schoonmaken en het manipuleren van afsluiters	Aanbrengen van vervuiling en het gecontroleerd aanbrengen van verstoringen in diverse omstandigheden.
Inzet van sensoren in het leidingnet over een langere duur	Zijn de metingen van sensoren (waterkwaliteit, temperatuur) betrouwbaar over een lagere periode (drift) en in verschillende omstandigheden? Welke eventuele schoonmaakmethoden zijn effectief?	Inzicht over de betrouwbaarheid van sensoren en de intervallen waarop kalibratie/reiniging dient plaats te vinden. Benchmarking van sensoren en validatie van metingen van fabrikanten.	Aanbrengen van sensoren voor langere tijd, incl. de opgetreden vervuiling (biofilm). Beproeven van schoonmaakmethoden. Deze proef is een stap verder naar toepassing dan een laboratoriumproef.
Microbiologische	Is een microbiologische verontreiniging	Inzicht in de kans op microbiologische	Nagaan in welke omstandigheden

besmetting door infiltratie bij onderdruk	te meten als gevolg van een besmetting nabij de leiding?	verontreiniging van het water in de leiding en daarmee verbeterd inzicht in hoe dit het beste is te voorkomen.	van onderdruk en lekkage een besmetting nabij een leiding kan leiden tot een microbiologische verontreiniging van het drinkwater.
-------------------------------------------	----------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Eventueel andere ideeën leklocatietechnieken en DMA-inrichting, dynamische DMA-indeling.

Onderzoeksthema C: Spanningen in en falen van leidingen

Onderzoeksidee	Onderzoeksvraag	Mogelijke toepassing voor BW	Opmerking
Validatie Comsima combinaties van spanningen	Validatie van spanningen berekend met Comsima met spanningsmetingen van diverse belastingsituaties (afhankelijk van bodem, waterdruk, verkeer).	Een betrouwbare voorspelling van spanningen en een betere identificatie van risicovolle leidingen en situaties.	Comsima is gebaseerd op beproefde inzichten in de grondmechanica. In een leiding treden combinaties op van spanningen. Het is belangrijk om resultaten berekend voor deze combinaties te valideren.
Validatie Comsima, bezwijkspanningen	Bij welke belasting treedt bezwijken op van een leiding.	Idem	In grondmechanicaberekeningen zijn een groot aantal onzekerheden en veiligheidsfactoren opgenomen. Hierdoor is het moeilijk in te schatten welke situaties daadwerkelijk tot bezwijken leiden.
Impact van verkeersbelasting op spanningen	Wat is de impact van verschillende eigenschappen van verkeer en het wegdek op spanningen in de leidingwand	Idem, inclusief inzicht in het effect van risicoreducerende maatregelen.	Wat is de invloed van het wegdektype, verkeersdrempels, massa en snelheid van het voertuig? Wat is de impact van trillingen in relatie tot de bodemsoort en de grondwaterstand?
Mantelbuis of diepere aanleg	Vergelijk de spanningen in de buiswand als gevolg van verkeer tussen een ligging in een mantelbuis of een verdiepte ligging	Inzicht of de toepassing van mantelbuis gunstiger is dan plaatselijk verdiept aanleggen.	Voor dit onderzoek is meer gedetailleerde kennis noodzakelijk over de impact van verkeersbelasting (zie hierboven).
Impact zettingsverschillen	Onderzoek wat de spanningen zijn in	Inzicht in welke situaties	Nabootsen van diverse situaties,
	leidingen als gevolg van ongelijkmatige zettingen (zettingssprongen)?	zettingsverschillen kunnen leiden tot falen en welke beheermaatregelen effectief zijn.	zoals overgang onderheid-niet-onderheid, uitredepunt mantelbuis, ligging boven onderheid riool, etc, met gecontroleerde relatieve grondbewegingen

Onderzoeksthema D: Leidingmaterialen

Onderzoeksidee	Onderzoeksvraag	Mogelijke toepassing voor BW	Opmerking
Testopstelling (nieuwe) materialen en componenten	In hoeverre zijn (nieuwe) materialen voor het leidingnet betrouwbaar (in de zin van mechanische integriteit, microbiologische veiligheid, bruikbare toepassing, etc.) in verschillende situaties?	Toetsen of nieuwe materialen in de praktijk en in bijzondere situaties voldoen aan de gestelde eisen. Deze opstelling kan ook toegepast worden voor reeds toegepaste materialen waar tekortkomingen geconstateerd zijn.	Hier kunnen nieuwe materialen en componenten monkey-proof worden getest: wat gebeurt er als het onderdeel niet volgens de voorschriften wordt aangebracht, is het bestand tegen druk-(stoten), extra belastingen, is het voldoende robuust bij aanleg (incidenten), kans op besmetting, potentie tot biofilmvorming?

Onderzoeksthema E: Aanleg/sanering leidingnet

Onderzoeksidee	Onderzoeksvraag	Mogelijke toepassing voor BW	Opmerking
Competitie leidingaanleg	Kan BW op objectieve wijze inzicht krijgen in de kwaliteit van werken van aannemers bij leidingaanleg en kunnen aannemers van elkaar leren?	Meer inzicht in prestatie aannemers, evaluatie werkwijze en ontwerp van leidingnetten	Laat meerdere aannemers in een gecontroleerde omgeving een ontwerp aanleggen, waarna een stresstest wordt uitgevoerd (druk/stoten, extra belasting, bemonstering, ...)
Proeftuin ideeën monteurs en derden over	Toets levensvatbaarheid ideeën	Een check of nieuwe ideeën levensvatbaar zijn voordat ze in	Hiervoor is het noodzakelijk dat er snel een testsituatie kan

leidingaanleg/beheer		een daadwerkelijk leidingnet worden toegepast.	worden gecreëerd.
Aanlegmethoden relining	Kunnen (nieuwe) reliningsmethoden en materialen getest worden in een proefsituatie?	Een check of nieuwe reliningsmethoden en -materialen veilig en effectief toepasbaar zijn voordat ze in een daadwerkelijk leidingnet worden toegepast.	Een oude leiding waarin een reliningstechniek wordt aangebracht. Focus op snelheid werken, omgang met hindernissen, afpersen, omvang/overlast bij werkput, waterkwaliteit, evt ook voor een langere periode.
Lekkage bij relining	Hoe gedraagt een lekkage zich bij diverse toepassingen van reliningstechnieken? Denk hierbij aan omvang, punt van detectie, reparatiemogelijkheden.	Inzicht hoe lekkages snel gedetecteerd en effectief verholpen kunnen worden.	Aanbrengen van oude leiding met zandpakket en relining waarin gecontroleerd een lekkage kan worden aangebracht.
Effecten van grondroering en blootlegging op de leidingintegriteit	Hoe groot zijn de risico's op lekkage als besloten wordt niet mee te gaan met derden?	Een betere onderbouwing in welke situaties niet hoeft te worden meegegaan, wat de bijbehorende risico's zijn en welke preventieve maatregelen effectief zijn.	Diverse scenario's waarbij de situatie wordt nagebootst waarbij zich een oude leiding bevindt naast een open sleuf waarin diverse 'belastende' handelingen worden uitgevoerd.

Onderzoeksthema F: Exploitatie leidingnet

Onderzoeksidee	Onderzoeksvraag	Mogelijke toepassing voor BW	Opmerking
Autonome navigatie robots	In hoeverre kan een autonome robot zich voortbewegen door een leidingnet en kloppen de uitgangspunten voor wat betreft het gebruik van energie? Denk hierbij ook aan herkennen en mijden van probleemsituaties en de recuperatie bij vastlopen.	Bewezen toepassing van autonome robot in leidingnet BW.	Deze test vindt plaats nadat de praktijktest in een testnet is uitgevoerd en voordat de robot wordt beproefd in een bestaand net.
Dataoverdracht autonome robots	In hoeverre is de overdracht van data van en naar de autonome robot werkbaar voor een betrouwbare inzet in een leidingnet?	Idem	Idem
Training lekreparatie	Geen onderzoek maar training monteurs: Train monteurs om storingen van oude transportleidingen effectief te repareren.	Verbetering proces van leidingreparatie op (transport-) leidingen	In deze specifieke proeftuin is het mogelijk om in een leiding een imitatie-lek aan te brengen dat overeenkomt met een echt lek. Monteurs (personeel van aannemers?) kunnen getraind worden in het snel en effectief verhelpen van de storing. Gezien het karakter van de proeftuin is dit goed te realiseren.

Bijlage II Advies kwaliteitsborging (Memo II)

Bestemd voor: Marie-Louise Kroon (Brabant Water)
Betreft: Inrichting Proeftuin Veghel, memo 2
Van: Ralph Beuken, Joost van Summeren
Datum: 6 april 2018

Brabant Water wil in 2018 in de gemeente Veghel een proeftuin aanleggen, om innovatieve technieken of werkmethoden in de praktijk te beproeven. Voor een proeftuin is een locatie nodig om in een veilige omgeving en onder geconditioneerde en extreme omstandigheden oude en nieuwe materialen, netwerkconfiguraties, aanleg- en verwijderingstechnieken, inspectietechnieken, lekverlies en meet- en regeltechnieken te testen.

Brabant Water wil dat de inrichting van deze proeftuin geschiedt op een wetenschappelijke basis. In het BTO-Bedrijfsonderzoek voert KWR het project Inrichting Proeftuin Veghel uit, om Brabant Water te adviseren bij de selectie van onderzoeksonderwerpen, de probleemstelling en theoretische context te vertalen naar een onderzoeksopzet en (conceptueel) ontwerp en om te adviseren over borging van de kwaliteit van de metingen (representativiteit en nauwkeurigheid van de meetopzet, reproduceerbaarheid van de resultaten, implementeren van een evaluatiemethodiek om onderzoeksresultaten onderling te kunnen vergelijken).

De opbrengsten van dit project zoals verwoord in het projectplan zijn, naast een rapport, drie memo's die KWR in de loop van het project opstelt. De opzet van de memo's zoals besproken in het projectplan is:

- Memo 1: Advies bij het selecteren van relevante onderzoeksonderwerpen door Brabant Water (opgesteld op 21-3-2018).
- Memo 2: Advies rond kwaliteitsborging op algemeen niveau: op welke wijze wordt de kwaliteit van analyseren, evalueren en rapporteren gewaarborgd.
- Memo 3: Vastlegging van de selectie en prioritering van (ongeveer 5) onderzoeksideeën, te kiezen door Brabant Water.

In deze memo (Memo 2) geeft KWR een advies voor algemene criteria voor het opzetten van een proef om innovaties te testen, het objectief beoordelen of een proef is geslaagd en het volledig rapporteren en communiceren over de proef.

1. Criteria voor het opzetten van een proef

1. Zorg voor een duidelijk omschreven opdracht. Formuleer de doelstelling, vraagstelling en randvoorwaarden van de proef duidelijk en eenduidig. De formele opdrachtgever en gemandateerd opdrachtgever zijn bekend.
2. Draag er zorg voor dat alle aspecten die zijn genoemd bij het beoordelen en communiceren (deel 2) voldoende zijn vertaald in meetbare criteria voor de resultaten van de proef.
3. In het geval van nieuwe innovaties: geef aan op welk TRL niveau (zie bijlage) de innovatie zich bevindt voor en na de proef.
4. In het geval van innovaties die al elders zijn getest en waarvan bevestiging bij BW noodzakelijk is: welke lessen zijn er te trekken uit de eerder uitgevoerde testen.

5. Zorg voor een representatieve weergave van de omgeving waarin de innovatie wordt ingezet. Inventariseer of extreme omstandigheden (klimaat, belasting, verkeerde handelingen, materiaalfouten, etc) getest moeten worden. Indien dit het geval is moet de opzet van de proef daarop worden aangepast.
6. Zorg voor een controleerbare meetopzet. Wat zijn de te onderzoeken eigenschappen en welke bijzondere omstandigheden spelen een rol: weer, belasting, vochtigheid, beschutting, grondwater, etc. Heeft de proef een lange duur karakter? Draag zorg voor betrouwbare meetmiddelen: vastgelegde specificaties, onderhoudsrapporten, validatierapporten, logboek, etc.
7. Zorg dat alle gegevens van het te testen object beschikbaar zijn en goed zijn vastgelegd.
8. Neem het oordeel van monteurs en aannemers mee bij de opzet.
9. Als het testobject een prototype of aangepaste versie is, zorg voor een goede vertaling naar de praktijk.
10. Leg alle stappen voor het uitvoeren van de proef vast in een logboek, laat dit door derden toetsen en noteer afwijkingen. Geef duidelijk de verschillende verantwoordelijkheden en taken aan van de specifieke medewerkers.
11. Breng benodigde externe expertise/mankracht in kaart voor het uitvoeren van de proef, het beoordelen van de resultaten of het begeleiden van het proces.
12. Hoe verhoudt de proef zich tot de beschikbare ruimte, de beschikbare capaciteit van aan- en afvoer? Is de proef geheel of gedeeltelijk herbruikbaar?
13. Beschikbaar budget en tijd waarin de proef dient te zijn uitgevoerd.
14. Stel voorafgaand aan de proef een risicoanalyse op, geef een overzicht van te voorziene projectrisico's, welke maatregelen getroffen dienen te worden en wie hierover beslist. Koppel dit terug met de opdrachtgever.
15. Zijn er specifieke aspecten van toepassing met oog op wet- en regelgeving? Spelen er aspecten met oog op milieu of omgeving?
16. Geef vooraf aan op welke wijze communicatie tussen experimentator en opdrachtgever zal plaatsvinden voorafgaand, tijdens en na de proef.
17. Hoe kunnen derden geïnformeerd worden tijdens de proef, is bezichtiging mogelijk en hoe kan de proef zo inzichtelijk mogelijk gepresenteerd worden?
18. Zijn er aspecten van vertrouwelijkheid, aansprakelijkheid of intellectueel eigendom?
19. Indien er veranderingen plaatsvinden ten opzichte van de oorspronkelijke opzet, koppel dat terug naar de opdrachtgever.

2. Criteria voor het beoordelen of een proef is geslaagd

1. Geef voorafgaand aan de uitvoering van de proef de procedure weer hoe te komen tot acceptatie of verwerping van het resultaat en wie hier zeggenschap over heeft. Betrek hierbij alle partijen die van belang zijn voor de toepassing van de innovatie (monteurs, werkvoorbereiders, inkopers, managers, aannemers, etc). Geef per partij aan wat de criteria zijn voor acceptatie.
2. Geef de impact aan van de innovatie voor Brabant Water en voor de maatschappij, anders gezegd maak duidelijk welk probleem opgelost wordt of welke kans mogelijk wordt gemaakt. Denk hierbij aan de volgende aspecten:
 - a. Passend binnen de bedrijfsdoelstellingen en de lange termijn visie op de organisatie
 - b. Prestatie van de levering van drinkwater
 - c. Risico's van de levering van drinkwater of voor de omgeving
 - d. Risico's voor ongevallen, Arbo, ziekteverzuim, motivatie, etc
 - e. Samenwerken in de ondergrond en met andere partners (Synfra, aannemers en gemeenten)
 - f. Duurzaamheid
 - g. Kosten (inclusief maatschappelijke kosten)
 - h. Tijdsbesteding voor alle betrokkenen

3. Is er voor het beoordelen behoefte aan een model of aan externe data, is de kwaliteit hiervan geborgd, is het model gevalideerd?
4. De data die wordt gebruikt in de proef dient van voldoende kwaliteit te zijn.
 - a. Is de juistheid gegarandeerd?
 - b. Is de data volledig?
 - c. Is de data voldoende gedocumenteerd (metadata)?
 - d. Zijn de bewerkingsstappen goed omschreven? Hoe is omgegaan met ontbrekende, foute, aangepaste data?
 - e. Heeft validatie van meetgegevens plaatsgevonden?
5. Zijn er leerpunten die van belang zijn voor volgende proeven in de proeftuin?

3. Criteria voor het rapporteren en communiceren over de proef

1. Het rapport bevat een duidelijke omschrijving van de proef. Dit omvat aanleiding en probleemstelling, meetopzet met randvoorwaarden, beperkingen, eventuele veranderingen ten opzichte van de oorspronkelijke meetopzet, meetresultaten, bespreking van de resultaten, conclusies en aanbevelingen.
2. Is het rapport over de proef door een derde partij geborgd? Zorg voor een formele acceptatie.
3. Documenteer relevante plannen, data, analyseresultaten en rapportages overzichtelijk. Beschrijf de proef zodat deze is te reproduceren
4. Leg vast hoe communicatie plaatsvindt, voor wat betreft de aard en de inhoud.
5. Communiceer schriftelijk over de achtergrond, opzet, uitvoering en beoordeling van de proef. Communiceer vervolgens over wat de beproefde innovatie betekent voor betrokkenen (binnen Brabant Water en bij derden).
6. Beschrijf de impact van de innovatie voor aannemers en andere partijen in de ondergrond en de wijze waarop kennisuitwisseling plaatsvindt.
7. Geef expliciet aan wat de opzet van de proef was, wat wel en wat niet was gelukt en welke lessen zijn te trekken. Geef ook aan wat de onbedoelde leerpunten waren.
8. Stel desgewenst vast wat het implementatietraject is na afsluiting van de proef en stel criteria voor hoe dit te toetsen. Geef aan wie de eigenaar is van het proces. Vraag actief om verbetervoorstellen en draag zorg voor het effectief verzamelen van reacties.

Bijlage

Technology Readiness Levels in the European Commission	
Technology Readiness Level	Description
TRL 1.	basic principles observed
TRL 2.	technology concept formulated
TRL 3.	experimental proof of concept
TRL 4.	technology validated in lab
TRL 5.	technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL 6.	technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL 7.	system prototype demonstration in operational environment
TRL 8.	system complete and qualified
TRL 9.	actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)

Bijlage III Vastlegging en prioritering van onderzoeksideeën (Memo III)

Bestemd voor: Marie-Louise Kroon (Brabant Water)
Betreft: Inrichting Proeftuin Veghel, memo 3
Van: Ralph Beuken, Joost van Summeren
Datum: 18 april 2018

Brabant Water wil in 2018 in de gemeente Veghel een proeftuin aanleggen, om innovatieve technieken of werkmethoden in de praktijk te beproeven. Voor een proeftuin is een locatie nodig om in een veilige omgeving en onder geconditioneerde en extreme omstandigheden oude en nieuwe materialen, netwerkconfiguraties, aanleg- en verwijderingstechnieken, inspectietechnieken, lekverlies en meet- en regeltechnieken te testen.

Brabant Water wil dat de inrichting van deze proeftuin geschiedt op een wetenschappelijke basis. In het BTO-Bedrijfsonderzoek voert KWR het project "Inrichting Proeftuin Veghel" uit, om Brabant Water te adviseren bij de selectie van onderzoeksonderwerpen, de probleemstelling en theoretische context te vertalen naar een onderzoeksopzet en (conceptueel) ontwerp en om te adviseren over borging de kwaliteit van de metingen (representativiteit en nauwkeurigheid van de meetopzet, reproduceerbaarheid van de resultaten, implementeren van een evaluatiemethodiek om onderzoeksresultaten onderling te kunnen vergelijken).

De opbrengsten van dit project zoals verwoord in het projectplan zijn, naast een rapport, drie memo's die KWR in de loop van het project opstelt. De opzet van de memo's zoals besproken in het projectplan is:

- Memo 1: Advies bij het selecteren van relevante onderzoeksonderwerpen door Brabant Water.
- Memo 2: Advies rond kwaliteitsborging op algemeen niveau: op welke wijze wordt de kwaliteit van analyseren, evalueren en rapporteren gewaarborgd.
- Memo 3: Vastlegging van de selectie en prioritering van (ongeveer 5) onderzoeksideeën, te kiezen door Brabant Water.

In Memo 1 heeft KWR een advies gegeven over 23 onderzoeksideeën verdeeld over 6 onderzoeksthema's. Brabant Water heeft hieruit vier onderzoeksideeën geselecteerd voor de proeftuin in Veghel (punt 1 t/m 4 in de lijst hieronder) en KWR heeft in afstemming met Brabant Water hier 2 ideeën aan toegevoegd (punt 5 en 6):

1. testen van nieuwe aanleg- en verwijderingstechnieken;
2. lange-duur testen van waterkwaliteitssensoren met oog op drift en vervuiling van sensoren;
3. detectie van sluimerende (kleine) lekken;
4. meten van de watertemperatuur voor het inschatten van risico's op hoge temperaturen
5. gedrag van lekkage in een lining meten
6. microbiologische besmetting door infiltratie bij lekkage/onderdruk of bij werkzaamheden

In samenhang met de voorstellen die in dit memo genoemd worden, onderzoekt Brabant Water momenteel de mogelijkheid om op het proefterrein een ringleiding aan te leggen. Deze wordt gevoed door een AC 600 mm. Voor het controleren van de druk en het beveiligen tegen instroom wil Brabant Water een reservoir met vrije uitloop en een aparte drukverhogingsinstallatie aanleggen.

Toelichting bij de geselecteerde onderzoeksideoën.

In onderstaande toelichting wordt gemotiveerd waarom bovenstaande onderzoeksideoën zijn geselecteerd. De inrichting van de proef wordt zeer globaal beschreven en zal in een latere fase van dit project verdere uitwerking krijgen.

1. Nieuwe aanleg- / verwijderingstechnieken

- Toelichting selectie

Dit betreft een bundeling van meerdere onderzoeksideoën uit Memo 1 over de aanleg van nieuwe leidingen, het vervangen van oude leidingen en het uitvoeren van vervangingen. Denk hierbij aan:

- Beproeven van nieuwe materialen, technieken of ideoën van monteurs.
- Testen van de aanlegtechnieken van relinen. Hiervoor dient vooraf een 'oude' leiding ingegraven te worden.
- Competitie (benchmark) aannemers: laat één of meerdere aannemers een leiding aanleggen of vervangen met opgegeven randvoorwaarden. Hierbij is het mogelijk eisen te stellen aan de duur van het afsluiten van aansluitingen of vooraf verzwarende omstandigheden aan te brengen (ingraven van obstakels, lokaal verhogen grondwaterstand, een open sleuf nabij en parallel aan leiding, etc). Na aanleg kan een aanvullende belasting worden aangebracht.

- Meerwaarde onderzoek voor Brabant Water

Brabant Water heeft hiermee de mogelijkheid om nieuwe technieken of materialen in de praktijk te testen voordat deze worden toegepast in het leidingnet. Het is ook mogelijk deze technieken en materialen te beproeven in bijzondere omstandigheden, zoals extreme belastingen. Brabant Water kan ook inzicht krijgen in de prestatie van aannemers bij het aanleg/vervangen/verwijderen van leidingen of het uitvoeren van reparaties.

- Globale inrichting proef

Voor dit idee is het van belang om binnen de proeftuin een stuk grond te reserveren waar later vast te stellen proeven voor nieuwe technieken voor aanleg en verwijdering van leidingen zijn te testen. Hiervoor is het noodzakelijk dat er voldoende aanvoer- en afvoercapaciteit van drinkwater beschikbaar is. Het is aan te bevelen een langwerpige strook te selecteren, waar meerdere parallel gelegen leidingen over een langere lengte aangelegd en verwijderd kunnen worden. Te denken valt hier aan een oppervlak van 50 – 100 m bij 25 m. In dit deelgebied moet het mogelijk zijn verschillende omstandigheden op representatieve wijze aan te brengen, zoals het controleren van de grondwaterspiegel, het aanbrengen van belastingen en het aanbrengen van verschillende grondsoorten (zand of klei). Voor het voorbereiden en uitvoeren van proeven kan zwaar transport noodzakelijk zijn. Hierbij dient met de inrichting rekening gehouden te worden.

2. Sensoren waterkwaliteit in het leidingnet

- Toelichting selectie

Brabant Water wil weten wat de mogelijkheden en uitdagingen zijn voor het uitrusten van het leidingnet met waterkwaliteitssensoren. Bij het inrichten van een leidingnet met sensoren is een aantal aspecten goed met numerieke modellen te bepalen, zoals de benodigde dichtheid van sensoren, de locatie van sensoren en de kans op detectie van waterkwaliteitsevents. Het toetsen en valideren van 'echte' sensoren en het inrichten van een meetsysteem zijn in het werkelijke netwerk te beproeven. Een nadeel daarbij is dat events slechts sporadisch voorkomen. In de proeftuin zijn zulke events naar wens te genereren. Hierbij kan voortgebouwd worden op ervaringen bij de proefinstallatie van Vitens in Leeuwarden. Hier is om ruimte te besparen een schaalmodel gebouwd, wat als nadeel heeft dat hydraulische omstandigheden anders zijn dan in werkelijkheid en vertaald (opgeschaald) moeten worden naar de tijd- en ruimteschaal van een werkelijk leidingnet. Ook geldt

dat proeven met deeltjes (i.v.m. bruin water) niet zijn te uitvoeren door de gevoelige afsluiters in de proefinstallatie van Vitens.

- **Meerwaarde onderzoek voor Brabant Water**
De inrichting van een netwerk op werkelijke schaal in de proeftuin in Veghel biedt Brabant Water de mogelijkheid om:
 - detectie van waterkwaliteitsevents (o.a. bruin water, verhogen groeipotentie van biofilm) te toetsen met 'echte' sensoren en onder reële hydraulische omstandigheden;
 - het presteren van sensoren te toetsen over een lange duur met oog op sensordrift en vervuiling.
- **Globale inrichting proef**
Het idee is om een vermaasd leidingnet aan te leggen met een diameterrange van 75 tot 200 mm. Afsluiters maken aanpassing mogelijk van de netstructuur. Voor het creëren van verschillende waterkwaliteitsincidenten zijn doseerpunten noodzakelijk. Voor het plaatsen van sensoren zullen meetkasten geplaatst dienen te worden, inclusief energievoorziening en dataopslag/of doorgifte.

3. Lekdetectie van sluimerende lekken

- **Toelichting selectie**
Sluimerende (en in het algemeen kleine) lekken zijn moeilijk op te sporen met de meeste akoestische technieken. Zij kunnen een voorbode zijn voor een groter lek. Als een klein lek niet wordt opgemerkt kan het waterverlies na verloop van tijd aanzienlijk zijn. In de proeftuin kan worden nagegaan met welke betrouwbaarheid kleine lekken in leidingen en verbindingen in verschillende omstandigheden (leidingmateriaal, bodem, etc.) effectief zijn op te sporen met verschillende technieken voor lekdetectie.
- **Meerwaarde onderzoek voor Brabant Water**
Door uitvoering van dit idee krijgt Brabant Water inzicht in de mogelijkheden van detectie van sluimerende lekken en kan zij voorkomen dat kleine lekken uitgroeien naar grotere lekken.
- **Globale inrichting proef**
Breng een lus aan vanaf de hoofdstructuur waar een lek gesimuleerd kan worden in verschillende leidingmaterialen en ondergronden, eventueel met op afstand bedienbare mondstukken. De lekopsporing geschiedt door het signaleren van het geluid dat optreedt bij het lek. Dit geluid wordt beïnvloed door het leidingmateriaal en de vorm en afmeting van het lek/mondstuk. Het is daarom aan te bevelen om ook leidingen in te graven waarin vooraf aangebrachte en nauwkeurig ingemeten lekken zijn aangebracht. Er dient hierbij speciale aandacht uit te gaan naar lekkages die optreden ter plaatse van verbindingen.

4. Watertemperatuur in leidingnet bij verschillende omstandigheden

- **Toelichting selectie**
Er zijn meerdere studies uitgevoerd naar de watertemperatuur in het leidingnet. Dit onderzoek heeft onder andere geresulteerd in modellen voor het voorspellen van de temperatuur. Brabant Water wil metingen uitvoeren om temperatuureffecten in het leidingnet in de praktijk te constateren en om de opgebouwde theorie te valideren.
- **Meerwaarde onderzoek voor Brabant Water**
Met deze metingen krijgt Brabant Water bevestiging van inzicht in resultaten uit modelstudies. Deze metingen, in combinatie met modellen, geven Brabant Water inzicht in het beter inrichten van het toekomstig netwerk, in het bijzonder het vermijden van zogenaamde hot-spots.
- **Globale inrichting proef**

Voor het uitvoeren van metingen naar temperatuureffecten in het leidingnet, zal in de proeftuin een onderdeel ingericht worden waarbij de temperatuur van het water wordt gemeten in verschillende situaties (bodem, bedekking, leidingmateriaal, diepten, hydraulica, schaduwvorming, elektriciteitskabels, reducerende maatregelen, etc). Voor de opzet van de meting is het van belang te besluiten of er wordt uitgegaan van het aanbrengen van een gecontroleerde temperatuur of het meten van de impact van de buitentemperatuur gedurende een langere tijd. In beide gevallen is een instelbare en meetbare stroomsnelheid van belang voor een goede vergelijking tussen experimenten.

5. Het gedrag van lekkage in een leiding met lining

- Toelichting selectie

Lekkage kan optreden bij een breuk van een liner of in het geval een deel van de liner niet goed is aangebracht. Hierover is nauwelijks kennis, terwijl dit aspect van groot belang is voor de levensduur van de lining en het repareren van lekken. Het effect van een dergelijke lekkage is afhankelijk van een groot aantal uitgangssituaties, aangezien verschillende typen lining worden toegepast in verschillende leidingmaterialen.

- Meerwaarde onderzoek voor Brabant Water

Deze proeven helpen Brabant Water met het beter inschatten van de levensduur van leidingen, de selectie van liners en het effectief repareren van lekken.

- Globale inrichting proef

Om het gedrag van lekkage te testen is het in eerste instantie noodzakelijk verschillende typen leidingen in te graven (denk hierbij aan verschillen in leidingmateriaal, diameter, lengte en verbindingstype) en daar verschillende typen liners in aan te brengen. Vervolgens dient een gecontroleerd lek aangebracht te worden, waarbij het gedrag van het lekkende water gemonitord dient te worden. Na aanbrengen van een lek is het mogelijk na te gaan of dit detecteerbaar is met lekdetectieapparatuur. Bij het verder uitwerken van dit onderzoek is het goed aandacht te besteden aan de vraag of voorafgaande labproeven wenselijk zijn.

6. Microbiologische besmetting door infiltratie bij lekkage/onderdruk

- Toelichting selectie

Het is mogelijk dat een microbiologische verontreiniging optreedt als er een verontreiniging in de bodem aanwezig is en als er onderdruk optreedt in lekkende leiding. Dit is ook mogelijk bij de aanwezigheid van een verontreiniging in combinatie met werkzaamheden. Door deze opzet in verschillende omstandigheden te beproeven (variatie van bijvoorbeeld de afstand tot de verontreiniging, de grootte lek, de mate en duur van de onderdruk, etc) kan worden onderzocht of en in welke situatie er een kans is op microbiologische verontreiniging. Een andere proefopzet zou kunnen zijn het aanbrengen van microbiologische verontreiniging tijdens het uitvoeren van een reparatie.

- Meerwaarde onderzoek voor Brabant Water

Dit onderzoek levert Brabant Water inzicht op in de kans op microbiologische verontreiniging van water in een leiding en daarmee verbeterd inzicht in hoe dit het beste te voorkomen is. Hoewel het meten van de kans op microbiologische verontreiniging door externe oorzaak meer een onderzoeks karakter heeft dan een innovatie karakter, leent de opzet van de proeftuin zich bij uitstek hiervoor.

- Globale inrichting proef

Binnen de proeftuin is het noodzakelijk een aftakking te creëren naar een ingegraven leiding, met een lek en waar onderdruk gecreëerd kan worden. Er is een gecontroleerd gebied noodzakelijk voor het nauwkeurig en reproduceerbaar aanbrengen van de verontreiniging. Het type verontreiniging (of

een proxy hiervan) dient nog nader uitgezocht te worden. Er is een voorziening noodzakelijk voor het creëren van een lekkage, een onderdruk, het voorkomen van terugstroming naar de ringstructuur en het afvoeren van water.

Door Brabant Water is ook voorgesteld om in de proeftuin in Veghel een ruimte in te richten voor proeven met autonome robots. Brabant Water is samen met andere Nederlandse waterbedrijven betrokken bij het AIR-project (Autonome Inspectie Robots). In het kader van het AIR-project wordt gewerkt aan de inrichting van een proefinstallatie bij KWR voor het trainen en testen van autonome robots in het leidingnet. De focus ligt hier op het testen van veiligheid, betrouwbaarheid en het herkennen van situaties in een representatief leidingnet (100-300 mm). Het leidingnet bevat combinaties van bochten en T-stukken, lekken en obstakels. Er wordt gewerkt met gangbare waterdrukken (tot 100 mwk) en stroomsnelheden (tot 2 m/s). Deze proeven worden in 2018 en 2019 uitgevoerd. Aanbevolen wordt dat een eventueel ontwerp van een testopzet in de proeftuin in Veghel aan de orde komt nadat de proeven bij KWR zijn uitgevoerd. Het is daarom aan te bevelen een deel van het terrein (circa een derde van het totale oppervlak) hiervoor beschikbaar te houden.

Bijlage IV Lekdetectie met sensoren voor akoestische signalen en tracergassen

Tabel 3. Overzicht van lekdetectietechnieken.

Naam	Werking	Eisen aan proeftuin	Opmerkingen
Pure SmartBall (https://puretechltd.com/technology/smartball-leak-detection/)	<ul style="list-style-type: none"> - Inline detectie van akoestisch signaal - Beweegt passief mee met de waterstroming - Max. duur meetexperiment: 21 uur - Minimum lekidentificatie 6,6 liter per uur - Nauwkeurigheid van lokalisatie: 1,8 meter 	<ul style="list-style-type: none"> - In- en uitnamepunt (bijv. hydranten) - Leidingdiameter: >200 mm - Leidinglengte: min. 10 m. 	Prestatie al bekend uit informatie fabrikant.
AIR (Autonome InspectieRobot)	<ul style="list-style-type: none"> - Inline detectie van akoestisch signaal - Autonome beweging 	<ul style="list-style-type: none"> - Aanwezigheid in-/uitnamepunt - Laadstation - Leidingdiameter: 100-300 mm - Leidinglengte: min. ca. 10 m. 	Op het moment van schrijven nog niet beschikbaar voor toetsing in de proeftuin.
Gutermann Leak Noise Correlator (http://en.gutermann.com/products/leak-noise-correlators/)	<ul style="list-style-type: none"> - Metingen met 2 sensoren op contactpunten (afsluiters of brandkranen) - Detectie van onbekende lekken op grote afstand - Verschillende smaken: voorstel (zie Bijlage 2) Aquascan 620L 	<ul style="list-style-type: none"> - Leidinglengte: (>200 m) (afhankelijk van leidingmateriaal) 	Verschillende types beschikbaar: voorstel: Aquascan 620L, evt. in combinatie met hydrofoon-sensoren
Echologics EchoShore®-DX permanent leak monitoring network	<ul style="list-style-type: none"> - Akoestische "nodes" geplaatst op contactpunt (hydrant) 	<ul style="list-style-type: none"> - Hydranten - Leidingdiameter: 100-300 mm 	
Echologics LeakFinder-ST™ correlator (A)	<ul style="list-style-type: none"> - Correlator-technique 		"superior performance for 'quiet' leaks"
Primayer Phocus 3m	<ul style="list-style-type: none"> - 2 sensoren op leiding 		

Wireless noise logger (https://www.primayer.com/products/phocus3/)	plaatsen via contactpunten op afsluiters of brandkranen		
Syrinx PipeMinder-T http://www.syrinx.com/solutions/pipeminder-t/	<ul style="list-style-type: none"> - Combinatie van hydrofoon, gefoon, volumestroommeter en drukmeter. - Identificatie en lokalisatie van lekken 	<ul style="list-style-type: none"> - Geschikt voor transportleidingen - installatie in combinatie met flowmeter 	
Schmidt Wattertechniek, met MTA-Pipe-Inspector http://www.schmidt.nl/pipe-inspector	<ul style="list-style-type: none"> - Pig uitgerust met sensoren die in-line metingen uitvoert - Voert ook visuele inspectie uit 	<ul style="list-style-type: none"> - Inbrengen en uitnemen van een pig - Tot 50 km 	10 l/uur
iEsders Tracerjectmethode (https://www.esders.nl/uploads/media/Brochure_Tracerject_NL.pdf)	<ul style="list-style-type: none"> - Bovengrondse detectie met waterstofsonde van in leiding gebrachte tracergassen - Toegestaan gas met 5% waterstof - Leiding kan in bedrijf blijven 	<ul style="list-style-type: none"> - Hydrant en injectiebox voor dosering - Doorstroming (0,15-2 m/s, bevordert gasoplossing en detectiekwaliteit). 	