

Living labs, proeftuinen en proefinstallaties voor onderzoek naar nieuwe drinkwaterdistributietechnieken

Joost van Summeren (KWR), Peter van Thienen (KWR), Ruud van Nieuwenhuijze (Brabant Water), Eelco Trietsch (Vitens)

Inzicht in het drinkwaterdistributienet draagt bij aan een betrouwbare levering van veilig drinkwater. Bovendien leidt het tot betere investeringen in vervangingen en de toekomstige inrichting van het leidingnet. Binnen het bedrijfstakonderzoek (BTO) wordt door KWR en de waterbedrijven in zogeheten ‘living labs’, proeftuinen en proefinstallaties onderzoek gedaan naar distributieprocessen onder praktijkomstandigheden. In dit artikel worden de mogelijkheden van verschillende onderzoeksmethoden besproken. Onderzoek onder gecontroleerde praktijkomstandigheden vergroot het inzicht in complexe distributieprocessen. Een praktijkgerichte omgeving biedt bovendien een nuttige testomgeving voor nieuwe technieken, voorafgaand aan toepassing in de praktijk. Samenwerking tussen waterbedrijven, industrie en kennisinstellingen vergroot de kennis op distributiegebied.

Voor een betrouwbare levering van veilig drinkwater willen we begrijpen wat er in het distributienet gebeurt. Het gaat hierbij vaak om het voorkómen of beperken van problemen op het gebied van waterkwaliteit (bv. microbiologische of chemische verontreinigingen), waterkwantiteit (bv. lekverlies, ondermaatse leveringsminuten) en assetmanagement (bv. veroudering van het leidingnet, afname van de prestatie). Dit is een grote uitdaging vanwege de ontoegankelijkheid en de heterogeniteit van leidingnetwerken, het dynamische waterverbruik van consumenten en de complexiteit van onderling gekoppelde fysische, chemische en biologische processen. Om het inzicht te vergroten of voorspellingen te doen, wordt vaak gebruik gemaakt van numerieke hydraulische modellen. Deze bevatten echter slechts een beperkt aantal processen, wat het begrip van de werkelijke processen beperkt.

Om grip te krijgen op ingewikkelde distributievraagstukken is een vereenvoudiging gewenst. Dit kan op verschillende manieren worden bereikt. Het onderzoek kan zich bijvoorbeeld richten op een specifieke wijk of juist alleen op de hoofdstructuur (transportleidingen) van het leidingnet. Hiervoor kan een deel van het leidingnet worden ingericht als zogenoemd “living lab”, waarbij continu en langdurig een deel van het bestaande leidingnet wordt gemonitord (zie ook de meer uitgebreide beschrijving hieronder). Een andere mogelijkheid is om een deel van het leidingstelsel na te bouwen. Eén of een aantal leidingen kunnen zo op ware grootte worden onderzocht, of juist een veelheid aan leidingen op kleinere schaal. Deze praktijkgerichte onderzoeksmethoden vormen een belangrijke bron van inzicht en een testomgeving voor het presteren van nieuwe technieken, algoritmen en sensoren onder praktijkomstandigheden.

Op het ogenblik zijn er in het kader van het bedrijfstakonderzoek van (BTO) van de Nederlandse drinkwaterbedrijven nieuwe ontwikkelingen gaande rond onderzoek met living labs, proeftuinen en proef- en laboratoriuminstallaties (zie tabel 1 voor de definities en kenmerken). Waterbedrijven kunnen via speerpuntonderzoek het onderzoek versnellen door een onderzoekslocatie in te richten. Daarbij hangt de keuze voor de methode af van de onderzoeksvraag. Het is van belang om kennis van deze ontwikkelingen in Nederland (en

daarbuiten) te delen, zodat er efficiënt kan worden samengewerkt en geleerd van verschillende onderzoekslocaties, elk met een onderscheidend karakter. Dit artikel gaat in op achtergronden, mogelijkheden en beperkingen van de verschillende onderzoeksmethodes en schetst een perspectief voor onderzoek en samenwerkingsvormen in de toekomst.

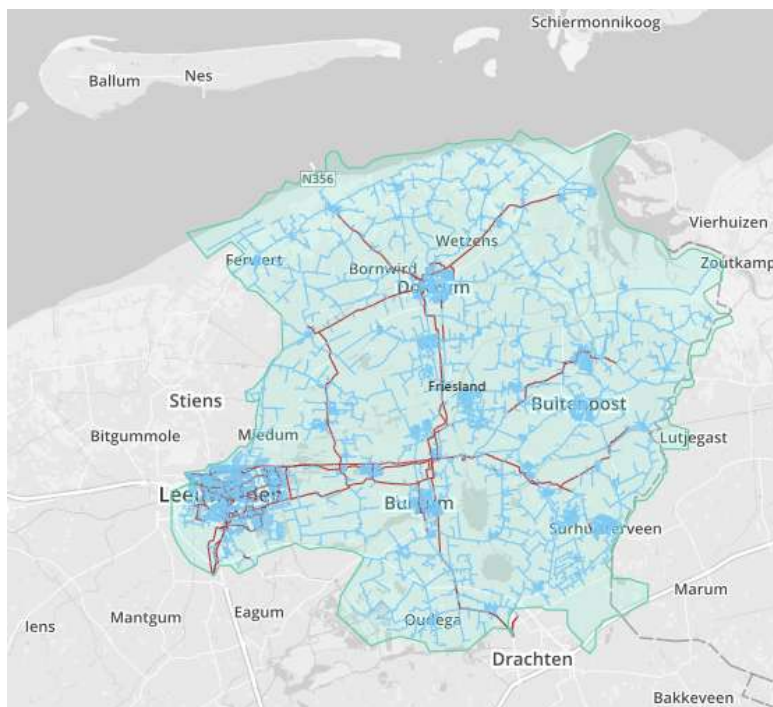
Tabel 1. Kenmerken en voor- en nadelen van living labs, proeftuinen, proefinstallaties, laboratoriuminstallaties en numerieke modellen gebruikt in onderzoek naar drinkwaterdistributie.

Onderzoeks-methode	Kenmerken	Voordelen	Nadelen
Living lab	<ul style="list-style-type: none"> - Open-innovatie-systeem waarin nieuwe technieken, strategieën, producten of diensten worden ontwikkeld, getest en toegepast. - Consumenten aangesloten. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realistische praktijkomstandigheden: werkelijk gedrag consumenten, hydraulica, leidingen en omgeving vormen onderdeel van de onderzoeksomgeving 	<ul style="list-style-type: none"> - Beperkte experimenteervrijheid vanwege veiligheidsvoorschriften en randvoorwaarden voor continue levering veilig en schoon drinkwater
Proeftuin	Buiteninstallatie(s) zonder consumenten	<ul style="list-style-type: none"> - Natuurgetrouw leidingnet, hydraulische omstandigheden en omgevingsfactoren zijn mogelijk - Grote experimenteervrijheid - Gecontroleerde omstandigheden 	<ul style="list-style-type: none"> - Geen werkelijk consumentengedrag
Proefinstallatie	Binneninstallatie op werkelijke schaal of geschaald naar kleinere dimensies. Indien de opstelling in een laboratorium staat wordt ook wel gesproken van een laboratoriuminstallatie	<ul style="list-style-type: none"> - Beperkte ruimte nodig - Grote experimenteervrijheid - Gecontroleerde omstandigheden 	<ul style="list-style-type: none"> - Geen werkelijk consumentengedrag - Indien op werkelijke schaal: Beperking van aantal leidingnetelementen - Indien geschaald: Vertaling naar werkelijke tijd- en ruimtedimensies.
Numerieke modellen	Wiskundig model waarin het gedrag van processen cijfermatig wordt beschreven. Vaak opgelost met behulp van computersimulaties om complexe problemen door te rekenen	<ul style="list-style-type: none"> - Snel en goedkoop toe te passen - Grote experimenteervrijheid - Gecontroleerde omstandigheden 	<ul style="list-style-type: none"> - Aannames en versimpelde natuurwetten, netwerkcomplexiteit, klantengedrag. - Geen mogelijkheid tot testen werkelijke sensoren

Living labs

Om goed onderzoek te kunnen doen in (gesimuleerde) praktijksituaties is een natuurgetrouwe, levensechte testomgeving van belang. Verschillende organisaties (zie hieronder) hebben daarom (een deel van) hun distributienetwerk ingericht als ‘living labs’. Een living lab is een compleet en functionerend systeem waarin nieuwe technieken, strategieën, producten of diensten worden ontwikkeld, getest en toegepast. Karakteristiek voor een living lab is dat het onderzoek plaatsvindt in een “levende omgeving” *samen met* de eindgebruiker. Dit is van belang omdat klantgedrag de watervraag bepaalt en klanttevredenheid een belangrijke stuurparameter is voor veel waterleidingbedrijven.

Hoe ziet zo’n living lab eruit? Een vooraanstaand living lab in de drinkwaterwereld is de demosite van Vitens, de Vitens Innovation Playground (VIP, zie afbeelding 1). Hierin ligt de nadruk op het testen van sensornetwerken voor het real-time monitoren van lekkages en de waterkwaliteit in het distributienet. De VIP maakt ook deel uit van het Europese samenwerkingsverband SmartWater4Europe waarin ook de living labs van drie andere organisaties zijn ondergebracht: Thames Water (TWIST, Reading, V.K.), Acciona Agua (SWING, Burgos, Spanje) en de Universiteit van Lille (USTL Sunrise, Villeneuve-d’Ascq, Frankrijk). Doelstellingen lopen uiteen maar terugkerende vraagstukken zijn het monitoren van de waterkwaliteit, lekdetectie en efficiënte inrichting van sensornetwerken.



Afbeelding 1. Het Vitens Innovation Playground (VIP)-leidingnet rond Leeuwarden. De hoofdstructuur is in rood aangegeven en overige leidingen in lichtblauw op de achtergrond

Ook andere Nederlandse waterbedrijven gebruiken het bestaande leidingnet als living lab. Zo voert bijvoorbeeld PWN spuiproeven uit die informatie leveren over het opeenhopen van deeltjes aan de wanden van leidingen. Verder is in Nederland Sensor City Assen een belangrijk Living Lab. Vooralnog zijn de thema’s hier veiligheid, mobiliteit en stadsgeluiden, maar dit wordt in de toekomst mogelijk uitgebreid met het thema water.

Proeftuinen en proefinstallaties op werkelijke schaal

Omdat in een living lab consumenten zijn aangesloten op het systeem, is het variëren van de waterkwaliteit of uitvoeren van bezwijkexperimenten niet of slechts beperkt mogelijk: regelgeving en randvoorwaarden moeten immers worden gerespecteerd ten behoeve van veiligheid, waterkwaliteit en continue levering. Dit beperkt de experimenteervrijheid van de onderzoeker. Een grotere experimenteervrijheid is te bereiken door gebruik te maken van proeftuinen, proefinstallaties of laboratoriuminstallaties. Zonder consumenten zijn er meer onderzoeksmogelijkheden en zijn onder *gecontroleerde* omstandigheden praktijksituaties na te bootsen. Zulke installaties worden gebouwd om specifieke processen te onderzoeken waarin het inzicht nog incompleet is, of om nieuwe technologieën te testen in een gecontroleerde omgeving. Onderzoek in proeftuinen en proefinstallaties biedt de mogelijkheid om risico's te nemen die in de normale bedrijfsvoering niet acceptabel zijn. Zo zijn bezwijkexperimenten mogelijk, waarbij componenten worden getest door ze te belasten totdat ze bezwijken. Denk bijvoorbeeld aan experimenten met druk, trek en buiging bij materiaalonderzoek.

Proeftuinen en proefinstallaties kunnen worden ingericht voor onderzoek naar een deel van het leidingnetwerk op werkelijke schaal of om bestaande modellen te toetsen. Uit ruimteoverwegingen is het onderzoek vaak beperkt tot één of enkele leidingsegmenten. De netwerkcomplexiteit is hierdoor beperkt, maar een voordeel is dat processen en materialen op werkelijke schaal kunnen worden nagebootst. Ook omgevingsfactoren, zoals grondsoorten, weer en verkeer zijn op natuurgetrouwe en gecontroleerde wijze te onderzoeken.

Enkele voorbeelden die de diversiteit van proeftuinen en proefinstallaties illustreren:

- De Universiteit van Sheffield, Verenigd Koninkrijk, gebruikt een proefinstallatie waarbij microbiologische groei op de leidingwand wordt onderzocht [2]. Hiervoor wordt water in 200 meter lange enkelvoudige buizen gecirculeerd en wordt de biologische activiteit in het leidingwater en op de wand lange tijd (minimaal enkele weken) gemonitord.
- Binnen het BTO wordt, in samenwerking met Wetsus, een proefinstallatie ontworpen voor onderzoek naar de mate van uitwisseling van micro-organismen tussen biofilm en de waterfase. Hiervoor worden op DNA gebaseerde methoden toegepast, en wordt de invloed van hydraulica en leidingmateriaal op deze uitwisseling onderzocht.
- De TU Delft gebruikt een model van een thuisinstallatie met tappunten, boiler en een variabel, per tappunt uniek verbruikspatroon voor onderzoek naar waterkwaliteit bij verschillende temperaturen en verblijftijden in thuisinstallaties [8].
- KWR gebruikt een opstelling voor onderzoek naar de verdeling en verspreiding van micro-organismen in waterleidingen. Dit levert informatie over de wachttijd voor metingen na een mogelijke vervuiling als gevolg van bijvoorbeeld leidingreparatie.
- IKT Prüfstelle für Bauprodukte in Gelsenkirchen, Duitsland, verricht proeven en producttesten met ondergrondse leidingen [9].
- Aannemer Heijmans beschikt over testlocatie Koningsbosch waar in samenwerking met WML, DSM en InSituForm kousrelining is getest en ontwikkeld – een vorm van leidingrenovatie waarbij de leiding gewoon in de ondergrond kan blijven liggen.

Ideeën voor een proeftuin bij Brabant Water

Brabant Water verkent momenteel de inrichting van een proeftuin voor de ontwikkeling van innovatieve technieken op het gebied van conditiebepaling, inspectie, aanleg en vervanging van leidingen. Deze thema's zijn belangrijk vanwege de voorgenomen intensivering van leidingvervangingen (de zogenoemde "saneringsbult"). Het bepalen van de conditie van leidingen is tevens relevant voor het bepalen van lekverliezen en het (mogelijk) voorspellen van leidingfalen. Een ander nieuw thema is de ondiepe aanleg van leidingen. Ondiepe aanleg is mogelijk goedkoper en sneller, bij zowel de aanleg als reparatie en vervanging, maar kent ook risico's, zoals de hogere gevoeligheid voor oppervlakteverstoringen (boomwortels, verkeer, grondwaterfluctuaties, etc.) en toenemende vorstgevoeligheid.

In de (nog te ontwerpen) proeftuin kunnen de prestaties van nieuwe inspectietechnieken en conditiebepalingen worden onderzocht en vergeleken met die van bestaande methoden. Ook mogelijkheden, beperkingen en risico's van sleufloze aanleg en/of inspectie met robotica en het gebruik van nieuwe leidingmaterialen zijn te onderzoeken.

Proef- en laboratoriuminstallaties: schaalmodellen van het distributienet

Voordelen van het gebruik van schaalmodellen zijn besparing van ruimte, experimenteertijd en kosten, en de mogelijkheid om experimenten in zeer omvangrijke netwerken uit te voeren. Kleinere opstellingen worden meestal "proefinstallatie", of ook wel "laboratoriuminstallatie" genoemd (het onderscheid is niet altijd scherp aan te geven). Schaalmodellen zijn bij uitstek geschikt voor gedetailleerd onderzoek naar één proces of techniek, hoewel deze specialiteit tevens als beperking kan gelden. Een uitdaging voor schaalmodellen is de vertaling van resultaten naar werkelijke dimensies. Allerlei processen zijn namelijk schaalafhankelijk. Zo neemt bijvoorbeeld de turbulentie in een leiding toe bij een grotere leidingdiameter en hogere stroomsnelheid.

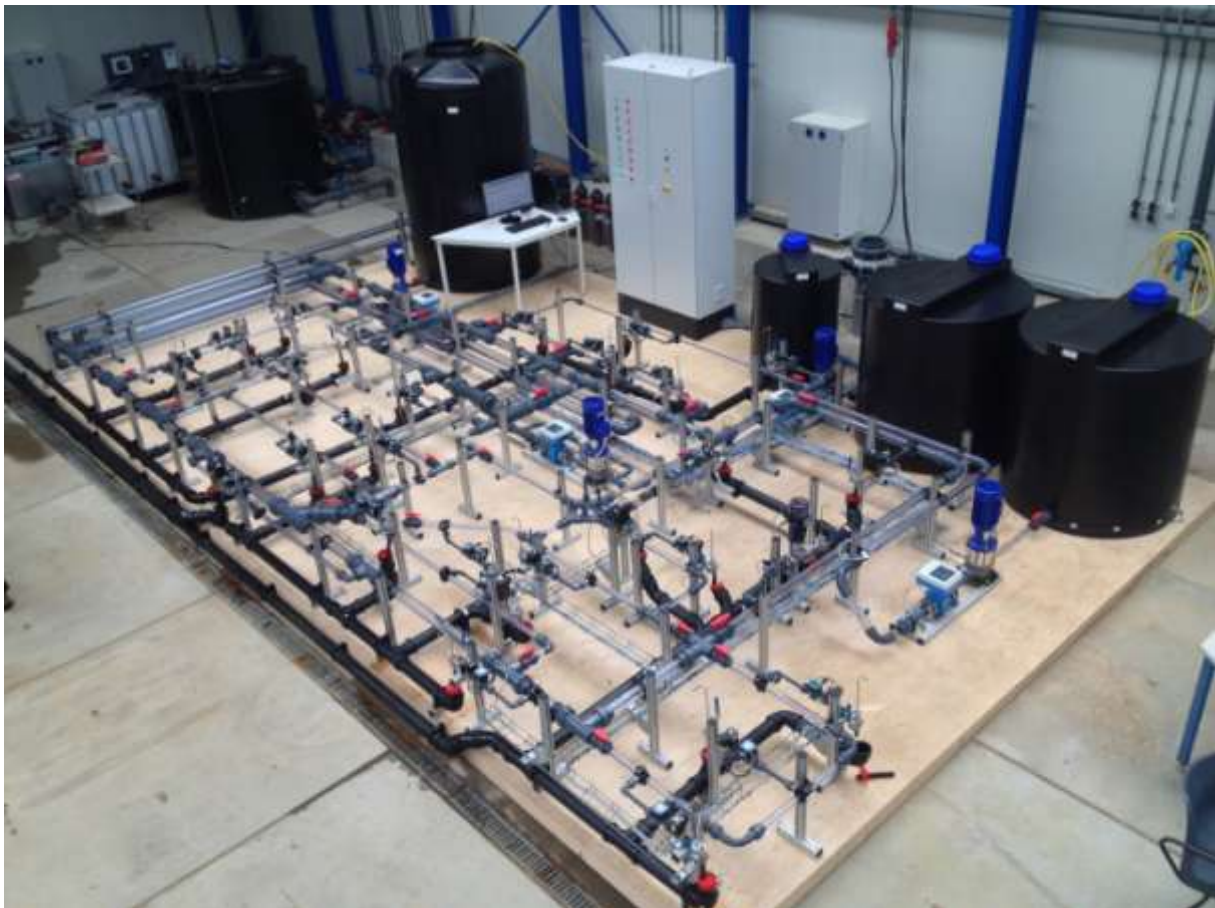
Er zijn verschillende voorbeelden van opstellingen op schaal bekend:

- De Universiteit van Graz, Oostenrijk, gebruikt een miniatuurleidingnetwerk van in totaal 50 meter voor onderzoek naar de hydraulische effecten van één of meerdere lekken in een netwerk, en het testen van praktijkprestaties van algoritmes voor het lokaliseren van lekken [3].
- In een proefopstelling van de Universiteit van Perugia in Italië worden schokgolven gegenereerd om waterslag te simuleren. Hiermee worden mogelijkheden onderzocht voor detectie van bijvoorbeeld lekken, illegale leidingvertakkingen, blokkades of foutief openstaande afsluiters met analyse van druggolven [4].
- Een schaalmodel van INCAS-3 is in voorbereiding met als doel het testen van geavanceerde draadloze sturings- en sensor-systemen met gemotoriseerde afsluiters [6].
- Proefinstallaties op schaal worden ingezet om het menggedrag van waterstromen op leidingssplitsingen en -kruisingen te onderzoeken [1, 5]. Dit is van belang omdat de mate van menging op lokaal niveau implicaties heeft voor netwerkbrede verspreidingspatronen.

Schaalmodel van de Vitens Innovation Playground voor onderzoek naar waterkwaliteit en real-time sensing

In opdracht van Vitens ontwikkelde KWR een schaalmodel van het leidingnet, als uitbreiding op het VIP living lab. Het doel is om transportprocessen en sensortechnieken met betrekking tot waterkwaliteit in de VIP gecontroleerd en flexibel te kunnen onderzoeken. Hierbij staan het gedrag van verschillende typen water of mogelijke verontreinigingen, de detectie van stoffen door een sensornetwerk en demonstratie- en trainingsdoeleinden centraal [7].

Sinds 2014 werkt KWR in het kader van het speerpuntonderzoek van het BTO voor Vitens aan het ontwerp en de bouw van een installatie. Het schaalmodel is zo ontworpen dat relevante transportprocessen vertaald kunnen worden naar de werkelijkheid. Op basis van een theoretische analyse is een keuze gemaakt in leidinglengtes, -diameters, tijdschaal en structuur van het netwerk. Turbulente stromingen, schuifspanningen en deeltjestransport zijn zo vertaalbaar naar de werkelijkheid en kunnen gelijktijdig onderzocht worden. Tevens is rekening gehouden met allerlei praktische randvoorwaarden, zoals beschikbare ruimte, leidingmaterialen en apparatuur. De proefinstallatie beslaat ongeveer 8 x 4 meter en omvat de hoofdstructuur van het VIP-leidingnetwerk. Door het gebruik van transparante PVC-buizen zijn stromingen (na toevoeging van kleurstoffen) visueel te volgen en met een geautomatiseerd, decentraal sturingssysteem kunnen nauwkeurig en snel 28 tijdsafhankelijke verbruikspunten onafhankelijk worden geregeld. Op dit moment wordt de installatie voorbereid voor experimenten op het gebied van waterkwaliteit en sensing (zie afbeelding 2).



Afbeelding 2. Proefinstallatie in aanbouw. Een schaalmodel van het Vitens Innovation Playground-distributiesysteem, dat wordt ingericht voor onderzoek naar stromingspatronen van verschillende waterbronnen, mogelijke afwijkende waterkwaliteit en meting daarvan met netwerken van sensoren. Het systeem bevat 3 voedingen, 28 tijdsafhankelijke verbruikspunten en een nagebootste reinwaterkelder, en is uitgevoerd in transparante PVC-leidingen. De installatie beslaat een oppervlak van 4 x 8 m

Omgeving voor gericht onderzoek en testen van nieuwe technieken

Living labs, proeftuinen en proefinstallaties vervullen een nuttige brugfunctie tussen theorie en praktijk. Voor onderzoek kan ingezoomd worden op specifieke processen onder waarheidsgetrouwe of juist gecontroleerde praktijkomstandigheden. Daarnaast kunnen allerlei nieuwe modellen en technieken worden getest, voorafgaand aan implementatie in de praktijk. Bovendien biedt een proeftuin nuttige demonstratie- en trainingsmogelijkheden voor klanten, technici, leveranciers en producenten.

Voor onderzoek naar allerlei distributievraagstukken worden tegenwoordig numerieke modellen ingezet om berekeningen uit te voeren of voorspellingen te doen. De modelmatige aanpak is soms te verkiezen boven uitgebreid praktijkonderzoek. Maar ze kent ook haar beperkingen, zoals versimpelde natuurwetenschappelijke wetten, netwerktopologie, leidingdetail en de afhankelijkheid van goede praktijkmetingen. Een praktijkomgeving is daarom bij uitstek geschikt om het functioneren van modellen en van sensoren en sensornetwerken te testen.

Ook voor andere technieken is een testomgeving gewenst. Denk bijvoorbeeld aan robotica, een opkomend onderzoeksveld in de bedrijfstak. Deze methode is vernieuwend en flexibel: met autonoom voortbewegende robots wil men toewerken naar metingen die niet destructief zijn, de waterlevering onverstoord laten en niet afhankelijk zijn van in- en uitgangen of van een vooraf bepaald traject (zoals bij een SmartBall). Onderzoek en testen van roboticatechnieken zullen echter in eerste instantie in een consumentvrije omgeving gebeuren. Binnen de drinkwatersector wordt het real-time meten en sturen in het leidingnet steeds belangrijker. De toenemende nadruk op datagedreven (voorspellende) modellen gaat samen met nieuwe ontwikkelingen van analysetechnieken zoals Data Mining. Ook hiervoor zijn praktijkgerichte testomgevingen erg nuttig.

Wat kunnen bedrijven van elkaar leren met living labs, proeftuinen en proefinstallaties?

Het inrichten van een proeftuin of proefinstallatie en het uitvoeren van experimenten kunnen meerwaarde bieden, maar vergen ook een investering in tijd, geld en expertise. Bij elke doelstelling moet daarom zorgvuldig worden nagegaan welke aanpak het meest geschikt is: numerieke modellen, een living lab, proeftuin of proefinstallatie of een combinatie van methoden.

Veel waterbedrijven kennen vergelijkbare distributievraagstukken en -problemen (sensing, sturing, anomaliedetectie, bedrijfsvoering, inspectie, risico- en conditiebepaling, enz.). Een aantal van deze vraagstukken wordt al (deels) bekeken in onderzoekslocaties. Toch blijven er nog genoeg relevante vraagstukken over. In Nederland ligt een waterleidinginfrastructuur in de grond met een geschatte vervangingswaarde van zo'n 20 tot 30 miljard euro, en het testen van nieuwe inspectie- of aanlegtechnieken kan bijdragen aan doelmatiger assetmanagement. Ook toenemende automatisering, sensing en gebruik van datagedreven modellen stellen de bedrijfstak voor nieuwe uitdagingen (en kansen).

Toegespitst onderzoek in een praktijkgerichte omgeving is daarom van belang. Voor toekomstig onderzoek is het wenselijk om gezamenlijk op te trekken bij de ontwikkeling van verschillende living labs, proeftuinen en proefinstallaties, waarbij verschillende locaties worden ingericht, elk voor een specifiek thema. Dit kan de samenwerking en kennisuitwisseling tussen waterleidingbedrijven, aannemers, technologieleveranciers en kennisinstututen bevorderen. Kortom, het delen van kennis en experimenteertijd in proeflocaties kan een relevante meerwaarde bieden om voorbereid te blijven op de uitdagingen van morgen.

Referenties

1. Douterelo, I., Sharpe, R. L., Boxall, J. B. (2013). Influence of hydraulic regimes on bacterial community structure and composition in an experimental drinking water distribution system, *Water Research*, 47, p.503–516.
2. Zlatanovic, L., Vreeburg, J., Hoek, J. O. van der (2015). Residential sprinklers and water quality in domestic systems, *TU Delft Newsletter*.
3. <http://www.ikt.de/pruefstelle/ikt-pruefstelle-fuer-bauprodukte-dibt-amerkannt-zertifiziert/> geraadpleegd op 19 oktober 2015.
4. Günther, M., Steffelbauer, D., Neumayer, M., Fuchs–Hanusch, D. (2014). Experimental setup to examine leakage outflow in a scaled water distribution network, *Procedia Engineering*, 89, p.311–317.
5. Meniconi, S., Brunone, B., Ferrante, M., Massari, C. (2011). Small amplitude sharp pressure waves to diagnose pipe systems, *Water Resources Management*, 25 (1), 79–96.
6. Summeren, J. van, Meijering, S., Hijnen, W., Beverloo, H., Thienen, P. van (2014). Meeting of Waters: Ontwerp van een proefinstallatie voor drinkwatertransport in de Vitens Innovation Playground. BTO 2014.041.
7. Choi, C. Y., Shen, J. Y., Austin, R. G. (2008). Development of a comprehensive solute mixing model (AZRED) for double–tee, cross and wye junctions, 10th Annual WDSA Conference, p.1004–1014.
8. Tejada, A., Horváth, K. Shiromoto, H. S., Bosman, H. (2015). Towards WaterLab: a test facility for new cyber–physical technologies in water distribution networks. Preprint, ArXiv:1503.00993.

