

De bron van verontreinigingen bepalen met hydraulische softwarepakketten

Ina Vertommen, Peter van Thienen (KWR Watercycle Research Institute), Peter Schaap, Johannes Keizer (PWN), Veerle Sperber (Rijkswaterstaat, voorheen Brabant Water)

Bij een drinkwaterbesmettingsincident is het lokaliseren van de besmettingsbron(nen) cruciaal om negatieve gevolgen voor de volksgezondheid en klanttevredenheid te beperken. Hydraulische softwarepakketten kunnen in combinatie met technieken voor backtracing en bronbepaling belangrijke informatie leveren bij dergelijke incidenten. Binnen het BTO-speerpuntonderzoek voor PWN en Brabant Water heeft KWR uitgezocht welke stappen moeten worden doorlopen en wat er moet worden toegevoegd aan de hydraulische software die drinkwaterbedrijven gebruiken, om besmettingsbronnen modelmatig te kunnen lokaliseren.

Bij een drinkwaterbesmetting is het tijdig lokaliseren van de besmettingsbron(nen) cruciaal om potentiële negatieve gevolgen te beperken. Zo kunnen effecten op de volksgezondheid en klanttevredenheid worden ingedamd. Met informatie over de locatie van de besmettingsbron kan een drinkwaterbedrijf secties van het netwerk isoleren om de verspreiding van de besmetting te beperken en in de getroffen gebieden de nodige maatregelen te nemen (bv. kookadvies of spuien). *Backtracing* en bronbepaling zijn relatief goedkope en betrouwbare technieken om paden van verontreiniging in het net te berekenen, mits het hydraulisch model een actuele weergave van de werkelijkheid is. Het toepassen van deze technieken is nog geen gebruikelijke procedure bij drinkwaterbedrijven, maar wordt erkend als waardevol in het geval van een incident.

KWR Watercycle Research Institute heeft in het kader van het bedrijfstakonderzoek (BTO) een methodiek voor bronbepaling ontwikkeld [1], [2]. Deze is nog niet direct toepasbaar voor de drinkwaterbedrijven. Binnen het speerpuntonderzoek voor PWN en Brabant Water heeft KWR onderzocht wat nodig is om de methodiek voor bronbepaling te implementeren in de hydraulische software die deze bedrijven gebruiken. In Nederland wordt veel gebruik gemaakt van de softwarepakketten Synergi en Infoworks. Op basis van de handleidingen en in overleg met de hydraulische experts van PWN en Brabant Water is geïnventariseerd welke relevante functies aanwezig zijn in deze software en welke stappen nodig zijn om de door KWR ontwikkelde methodiek voor bronbepaling hierin te implementeren.

Backtracing

‘Backtracingtechnieken’ worden gebruikt om te bepalen waar het water dat langs een bepaald punt in het leidingnet stroomt vandaan komt. Hiervoor maken deze technieken gebruik van stoftransportmodellen. Het bepalen van besmettingsbronnen op basis van signalen van sensoren is typisch een backtraceprobleem.

Van backtracing naar bronbepaling

Diverse sensoren (waterkwaliteitssensoren, monsternames en/of klantmeldingen) kunnen bijvoorbeeld een afwijkende concentratie van een bepaalde stof of een afwijking in de kleur, geur of

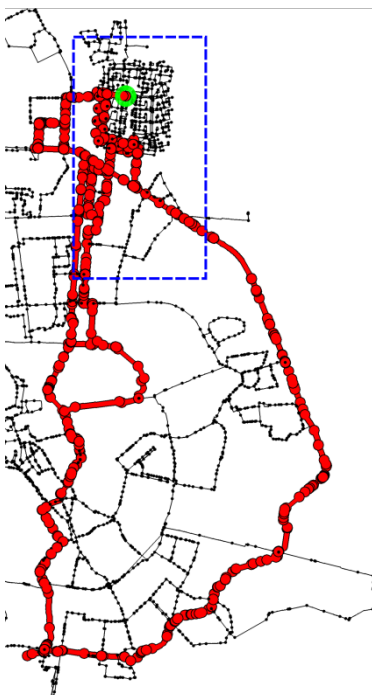
smaak van het water meten. Dit kan wijzen op een besmetting. Vanaf de locatie van de sensor wordt dan een *backtrace* uitgevoerd, waarbij de volledige weg die het water heeft afgelegd tot bij de sensor wordt vastgesteld. De besmettingsbron kan zich op ieder punt van deze route bevinden. Dit betekent dat backtracingtechnieken het totaal mogelijke brongebied identificeren en niet de exacte locatie van de besmettingsbron. Voor de bronbepaling is het nodig dit gebied in te perken. Hiervoor heeft KWR een methodiek ontwikkeld. Deze valt uiteen in twee stappen:

(1) Uitvoeren van een *backtrace* voor elke sensor in het distributienetwerk. Dit resulteert in een herkomstkaart per sensor.

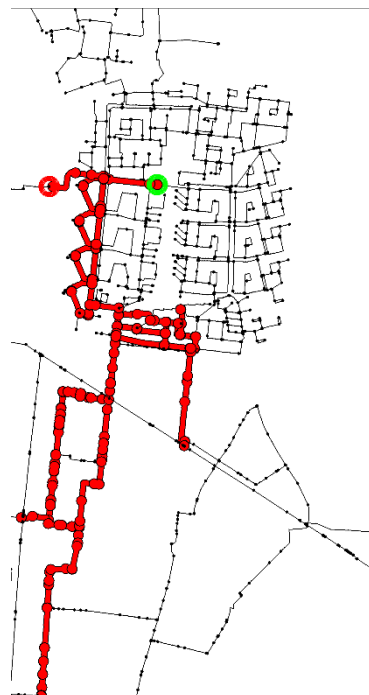
(2) Combineren van deze herkomstkaarten om de bronlocatie te bepalen.

De combinatie van herkomstkaarten van verschillende sensoren werkt als volgt (zie ook afbeelding 1):

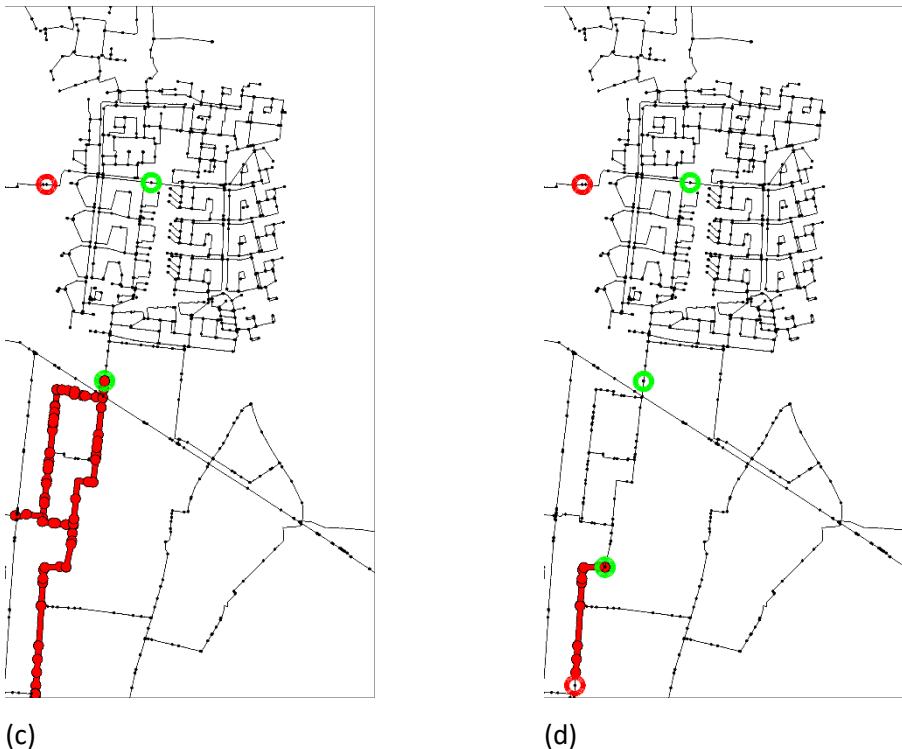
- **Positieve combinatie:** wanneer twee of meer sensoren vermoedelijk dezelfde verontreiniging constateren (het betreft dus dezelfde gebeurtenis), bevindt de bronlocatie zich in de overlap van de herkomstkaarten van de individuele sensoren.
- **Negatieve combinatie:** wanneer één of meer sensoren vermoedelijk dezelfde verontreiniging constateren maar een andere niet, bevindt de bronlocatie zich in het verschil tussen de individuele herkomstkaarten van de positieve en negatieve sensoren. Bij een negatieve combinatie wordt aangenomen dat er voldoende tijd is verstreken sinds het begin van de (doorlopende) besmetting om de betreffende sensoren te bereiken. Deze aanname is niet altijd heel betrouwbaar (een sensor kan bijvoorbeeld stuk zijn) en het wordt daarom aanbevolen om een negatieve combinatie met de nodige zorg toe te passen.



(a)



(b)



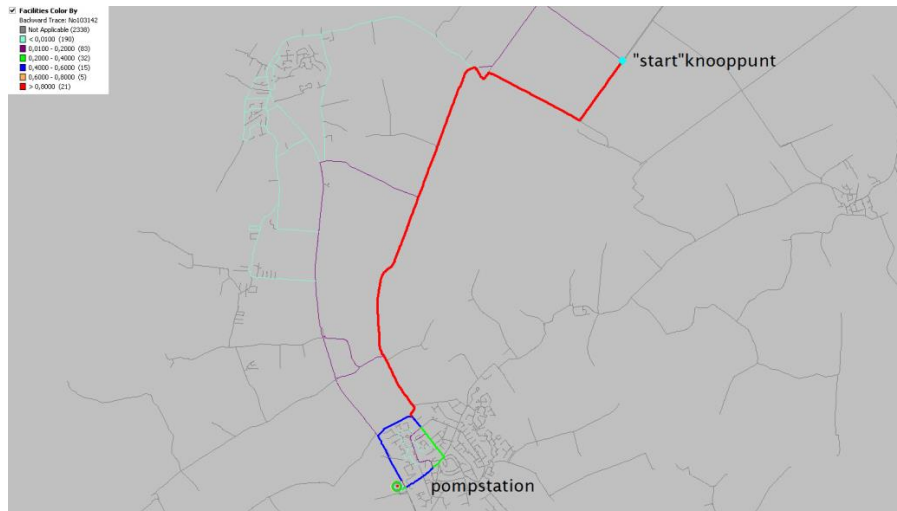
Afbeelding 1. Inperking van brongebied: (a) detectie van de besmetting (groene cirkel) en bijbehorende herkomstkaart in rood; (b) inperking van dit gebied bij toevoeging van een negatieve bepaling (rode cirkel); (c, d) verdere inperking door successievelijke toevoegingen van positieve en een negatieve bepalingen. Deelfiguren b, c, d tonen het in deelfiguur a met een blauwe rechthoek omsloten gebied.

Relevante functionaliteit in Infoworks 15.0.3

In het programma Infoworks 15.0.3 van ontwikkelaar Innovyze zijn backtracing-functionaliteiten niet aanwezig. Bij InfoWater, een ander product van Innovyze, is een extra backtracemodule wel verkrijgbaar: de InfoWater BTX. Infowater BTX draait terug in de tijd en identificeert de meest waarschijnlijke besmettingsbronnen voor een geconstateerde besmetting op een bepaald knooppunt. Implementatie van bronbepaling in InfoWater BTX is echter niet geëvalueerd omdat dit programma voor zover bekend niet in Nederland wordt gebruikt.

Relevante functionaliteit in Synergi 4.8.0

In de standaarduitvoering van Synergi 4.8.0 van DNV GL is een *backtracing*-functionaliteit aanwezig. De *backtrace*-tool traceert stroomopwaarts en terug in de tijd vanaf een geselecteerd knooppunt (sensor) en bepaalt waar het water vandaan komt en hoeveel water via elke leiding in die route komt. De resultaten kunnen op een herkomstkaart worden weergegeven. Op de herkomstkaart worden de stroompaden en de percentages waarin deze paden bijdragen aan het water dat langs het geselecteerde knooppunt (sensor) stroomt, geïdentificeerd met verschillende kleuren (afbeelding 2).

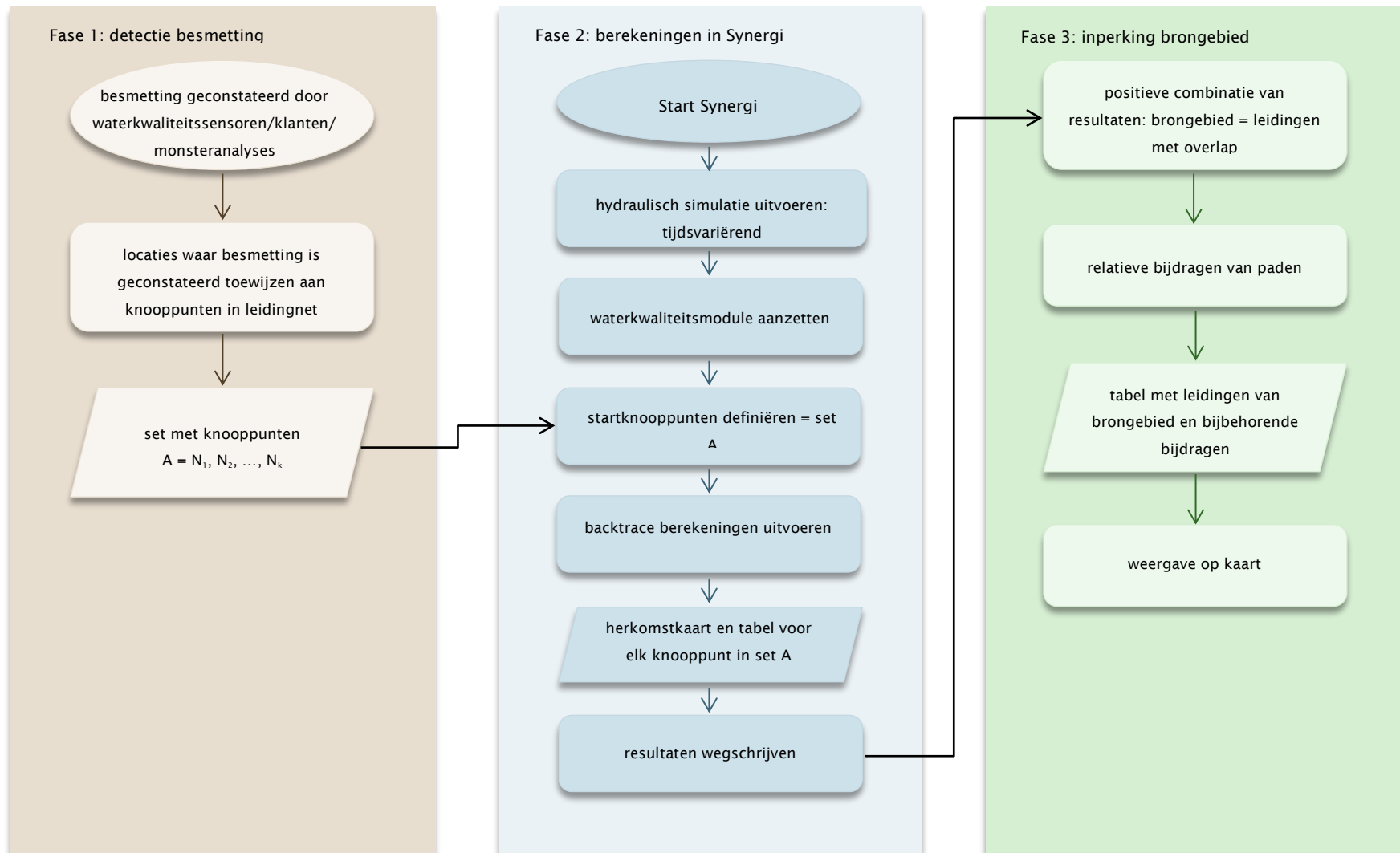


Afbeelding 2. Grafische weergave van het resultaat van een backtrace in Synergi 4.8.0. De verschillende kleuren van de leidingen geven de relatieve bijdrage van elk pad aan. In dit voorbeeld levert de leiding in het rood de grootste bijdrage aan het water dat langs het start knooppunt (sensor) stroomt.

Stappenplan voor implementatie van bronbepaling

Synergi 4.8.0 is in staat *backtraces* uit te voeren voor een reeks knooppunten. Dit levert een brongebied op voor elk knooppunt. Wat momenteel ontbreekt is de mogelijkheid de specifieke bronlocatie te bepalen. Daarom moet eerst een *backtrace* worden uitgevoerd voor elk knooppunt waar een besmetting wordt geconstateerd, waarna door combinatie van die gegevens het brongebied kan worden ingeperkt.

Afbeelding 3 geeft een overzicht van de te doorlopen stappen voor de implementatie van bronbepaling door drinkwaterbedrijven die Synergi gebruiken als hydraulische software. In het kader worden deze stappen toegelicht.



Afbeelding 3. Schema voor de implementatie van bronbepaling in Synergi 4.8.0.

Stappenplan bronbepaling

Het stappenplan voor implementatie van bronbepaling in Synergi 4.8.0 is verdeeld in drie fases (afbeelding 3):

- **Fase 1:** het proces voor bronbepaling begint wanneer in het distributienet een besmetting gedetecteerd wordt. Aangezien backtraceberekeningen in Synergi 4.8.0 worden uitgevoerd vanaf knooppunten in het leidingnetmodel, betekent dit dat de locaties van de sensoren die de besmetting detecteren moeten worden gekoppeld aan knooppunten in het hydraulisch model. Deze set van knooppunten dient als invoer voor Synergi 4.8.0.
- **Fase 2:** voorafgaand aan een backtraceberekening moet een hydraulische simulatie van het model uitgevoerd worden. Deze stap kan gelijktijdig met fase 1 worden uitgevoerd. Wanneer de hydraulische simulatie afgerond is, kan de set van knooppunten uit fase 1 worden ingelezen. Het programma voert voor elk van de aangegeven knooppunten een *backtrace* uit. Per knooppunt bepaalt het programma wat de bijdrage van elke leiding in het distributienet is.
- **Fase 3:** in deze fase worden de backtraceresultaten gecombineerd om het brongebied in te perken. Hiervoor wordt de positieve combinatie van herkomstkaarten toegepast. Dit betekent dat de bronlocatie zich bevindt in de overlap van de herkomstkaarten van de individuele knooppunten waar een besmetting geconstateerd is (aangenomen dat het om dezelfde besmetting gaat).
Om de positieve combinatie toe te passen moeten de in fase 2 verkregen backtraceresultaten eerst in een enkele tabel gecombineerd worden. In een laatste stap kunnen de leidingen worden geselecteerd en grafisch weergegeven op kaart.

Het voorgestelde stappenplan kan voor een beperkt aantal sensoren handmatig worden uitgevoerd. Wanneer het aantal locaties toeneemt wordt dit echter snel onhandelbaar. Het is daarom belangrijk om het stappenplan te automatiseren. Dit kan door de drinkwaterbedrijven zelf, mits de benodigde kennis hiervoor beschikbaar is, of worden uitbesteed aan de softwareontwikkelaar, DNV GL, of een andere externe partij.

De rol van het hydraulisch model

Voor het modelleren van het stoftransport is informatie nodig uit het hydraulisch model van het distributienetwerk. Het model bepaalt de, in de tijd variërende, stroomsnelheden en -richtingen in het leidingnet. Op basis daarvan wordt het stoftransport berekend. De nauwkeurigheid en kwaliteit van het hydraulisch model bepalen daarom de betrouwbaarheid van de resultaten.

Stroomsnelheden en -richtingen in het distributienetwerk zijn, zowel in de ruimte als in de tijd, zeer variabel als gevolg van:

- variaties in de watervraag: zowel reguliere variaties door de dag heen (bv. ochtend- en avondpieken), als stochastische variaties (afwijkingen van dag tot dag ten gevolge van variërende tijdstippen van douchen, toiletbezoek, etc.);
- variaties in wandruwheid en interne diameter van de leidingen door o.a. veroudering en corrosie van materialen, nagroei en sedimentatie;

- veranderingen in de bedrijfsvoering (bv. sturing vanuit pompstations/voedingen);
- onbekende afsluiterstanden;
- geplande en ongeplande werkzaamheden (bv. manipulatie van afsluiters en spuiacties);
- onbekende lekken.

Deze variabiliteit is groter in de periferie van het net en waar knooppunten door verschillende mazen zijn verbonden (hier komen stagnatie en omkering van de stroomrichting vaak voor [3], [4]). In de praktijk betekent dit dat er een onzekerheidsmarge zit op iedere schatting die wordt gedaan van een stromingsveld in een distributienet op een bepaald moment. De invloed van deze parameters op de resultaten van een *backtrace* is ook afhankelijk van de locatie van de sensoren (punten vanaf waar de *backtrace* wordt uitgevoerd).

Met betrekking tot waterverbruik worden gewoonlijk 'vaste' waarden gebaseerd op metingen of facturatiegegevens toegekend aan het model. Het is belangrijk om deze waarden regelmatig te actualiseren. Daarnaast is het waterverbruik in werkelijkheid variabel. In de door KWR uitgewerkte methodiek voor bronbepaling kan deze variabiliteit in aanmerking genomen worden.

Met betrekking tot het leidingnet is het belangrijk om actuele leidingdiameters, verbindingen en materialen te gebruiken in het model. Wijzigingen (bv. vervanging van leidingen) dienen zo snel mogelijk in het model te worden verwerkt.

Afsluiterstanden en bedrijfsvoeringacties (o.a. sturing op pompstations) hebben een grote invloed op de resultaten van een *backtrace* [5]. Het is daarom belangrijk dat de correcte afsluiterstanden in het model staan en dat het model ook direct wordt aangepast aan afsluitermanipulaties en wijzigingen in sturing. In de praktijk blijkt het moeilijk om deze informatie op orde te brengen. Toch is deze inspanning nodig om betrouwbare berekeningen en zinvolle backtracetechnieken toe te passen. KWR en verschillende drinkwaterbedrijven hebben inmiddels plannen om de registratie van actuele afsluiterstanden te verbeteren.

Ook lekken kunnen natuurlijk invloed hebben op de resultaten van een *backtrace*. Het is daarom ook van belang om het hydraulische model, wanneer een lek geconstateerd en gerepareerd wordt, opnieuw te kalibreren.

Naast het hydraulisch model zijn er ook onzekerheden gebonden aan de sensormetingen zelf. Hierbij valt te denken aan foute positieve of negatieve signalen, problemen met de aansluiting, de minimale concentratie die gedetecteerd kan worden of onderscheid tussen een incident en ruis. Ook het gebruik van klantmeldingen is gebonden aan onzekerheden: waarnemingen zijn veelal subjectief en de tijd tussen de waarneming van een klant en het informeren van het drinkwaterbedrijf kan het bepalen van het precieze startpunt van het incident beïnvloeden. De betrouwbaarheid van de bronbepaling is daarom ook afhankelijk van de betrouwbaarheid van de sensoren die een besmetting wel of niet constateren.

Synthese en perspectief

Er zijn grote verschillen in de mogelijkheden voor *backtracing* en bronbepaling tussen de huidige versies van Synergi en Infoworks. In Synergi 4.8.0 is het mogelijk om backtraceberekeningen voor meerdere locaties in het distributienet uit te voeren. Met de verkregen resultaten kan het brongebied worden ingeperkt door het stappenplan van KWR te volgen.

Ernstige waterkwaliteitsincidenten komen in Nederland (gelukkig) nauwelijks voor en het lokaliseren van besmettingsbronnen is daarom niet vaak nodig. Toch erkennen drinkwaterbedrijven dat het belangrijk is om goed voorbereid te zijn op eventuele incidenten. De implementatie van *backtracing*- en bronbepalingstechnieken past daarom in de visie van drinkwaterbedrijven. De vraag naar deze technieken hangt ook sterk samen met de inzet van waterkwaliteitssensoren. Wanneer drinkwaterbedrijven in de toekomst waterkwaliteitssensoren gaan installeren, dienen ook backtracetechnieken te worden toegepast om de informatie uit deze sensoren maximaal te benutten. Ook de informatie uit klantmeldingen of bemonstering kan maximaal benut worden door het toepassen van *backtracing*- en bronbepalingstechnieken.

Referenties

1. Thienen, P. van en Vries D. (2013). Backtracing van verontreinigingen in het distributienet: methoden en bronbepaling met stochastische watervraag. BTO 2013.030, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
2. Thienen, P. van, Vries, D. en Zaadstra, E. (2013). Backtracing helpt waterkwaliteitssensoren slim te plaatsen en calamiteiten op te sporen. *H2O-online*, 4 december 2013 .
3. Blokker, E. J. M. (2011). 'Stochastic water demand modelling: hydraulics in water distribution networks.' IWA Publishing, London.
4. Mesman, G., Sperber, V. en Thienen, P. van (2014). De informatieparadox van het leidingnetmodelleren. *H2O-online*, 24 juni 2014.
5. Summeren, J. van (2014). Numerieke validatie van backtracing berekeningen voor het bepalen van verontreinigingsbronnen in drinkwaterdistributiesystemen. 2014.018, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.