

BTO 2018.018 | oktober 2018

BTO rapport

Implementatie
automatische snelle
detectie van fecale
verontreiniging in het
distributienet

BTO

Implementatie automatische snelle detectie van fecale verontreiniging in het distributienet

BTO 2018.018 | oktober 2018

Opdrachtnummer

400554-154

Projectmanager

dr. L. (Luc) Hornstra

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Hygiëne en veiligheid

Kwaliteitsborger(s)

dr. G.J. (Gertjan) Medema

Auteur(s)

dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker, dr.ir. P.W.M. H. (Patrick) Smeets, dr. L. (Laurens) Hessels

Verzonden aan

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

Jaar van publicatie
2018

Meer informatie

dr. ir. E.J.M. Blokker
T 533
E mirjam.blokker@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 2018.018 | oktober 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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

Implementatieplan voor automatische detectie van fecale verontreiniging

Auteur(s) Mirjam Blokker, Patrick Smeets, Laurens Hessels

Uit voorgaande BTO onderzoeken 2013-2017 blijkt dat automatische detectie van fecale verontreiniging met zogenaamde *E. coli*-sensoren een aantal voordelen kan hebben. Er zijn echter ook belemmeringen geconstateerd voor implementatie van deze sensoren, zowel technisch en financieel als organisatorisch en juridisch. Dit rapport schetst op basis van de onderzoeken de benodigde stappen die een drinkwaterbedrijf, en de drinkwatersector, moeten nemen om tot implementatie van *E. coli*-sensoren in de praktijk te komen. Daarmee wordt benadrukt dat dit niet slechts technisch onderzoek en ontwikkeling vraagt, maar ook visie, draagvlak en de wil om te veranderen en nieuwe technologieën in de praktijk toe te passen.



Online sensoren voor bacteriologische parameters kunnen worden ingezet voor automatische detectie van fecale verontreiniging

Belang: komen tot een nieuwe manier van waterkwaliteitsbewaking

Veilig drinkwater is een belangrijke voorwaarde voor de volksgezondheid. Daarom wordt het gedistribueerde drinkwater regelmatig gecontroleerd op fecale verontreinigingen en vindt na werkzaamheden altijd waterkwaliteitscontrole plaats. In de huidige situatie worden daarvoor monsters genomen, naar het laboratorium gebracht

en daar geanalyseerd. Waterkwaliteitscontrole is daarom duur, en resultaten zijn pas na een tot enkele dagen bekend. Reguliere waterkwaliteitscontrole wordt beperkt tot het wettelijke minimum en bij werkzaamheden duurt het lang voordat het water weer kan worden vrijgegeven. Nieuwe technologieën maken automatische monsternamen en snelle analyse mogelijk. Daarmee kan de bewaking van de

drinkwaterkwaliteit aanzienlijk worden verbeterd en kan er sneller worden gehandeld. Zo kan een hoger veiligheidsniveau worden bereikt. Hier tegenover staan ook investerings- en transitiekosten, en er zijn diverse organisatorische en juridische belemmeringen. Om de potentiële voordelen die in de BTO onderzoeken zijn geïdentificeerd in de praktijk te kunnen behalen is daarom meer nodig dan alleen technologische ontwikkeling. Dit rapport schets een implementatietraject voor de individuele drinkwaterbedrijven, en voor de drinkwatersector als geheel om te komen tot een nieuwe situatie waarin *E. coli* sensoren de waterkwaliteit (mede) bewaken.

Aanpak: een globaal stappenplan.

In voorgaande BTO onderzoeken is zeker ook aandacht besteed aan de mogelijkheden en belemmeringen voor implementatie van *E. coli*-sensoren. Daarvoor zijn gesprekken gevoerd met de diverse afdelingen en medewerkers van twee drinkwaterbedrijven. Dit rapport vat eerst de resultaten van de voorgaande BTO onderzoeken samen en bouwt voort op de eerdere bevindingen rond implementatie, inclusief bevindingen uit andere trajecten zoals de BTO evaluatie en de wettelijke acceptatie van nieuwe methoden. De betrokken KWR-onderzoekers hebben een stappenplan geschetst waarvan zij denken dat het nodig is om tot succesvolle implementatie te komen van dit nieuwe concept.

Resultaten: visie, draagvlak, ervaring en vertrouwen.

Het implementeren van *E. coli*-sensoren zal verandering betekenen van veel onderdelen van de organisatie. Niet alleen de afdeling verantwoordelijk voor waterkwaliteit en het laboratorium, maar bijvoorbeeld ook de afdelingen projecten, ICT en communicatie zullen te maken krijgen met veranderingen. Het is belangrijk deze partijen tijdig te betrekken in het implementatietraject. Ten eerste moet men voldoende kennis hebben van het concept, de mogelijkheden en de beperkingen. Vervolgens kan gezamenlijk worden bepaald hoe dit in het eigen bedrijf zou passen, welke kosten en baten dit zou betekenen en welke belemmeringen er zijn. Het management moet daarbij overkoepelend kijken naar het gehele bedrijf. Zo kan een visie worden opgesteld waarvoor draagvlak bestaat binnen de organisatie. Vervolgens moet het bedrijf ervaring

opdoen met de nieuwe technologie. Dat kan kleinschalig beginnen in een proefopstelling en worden uitgebreid naar een pilot. In dat traject kan door bedrijven onderling en met technologieontwikkelaars worden samengewerkt. Wanneer bedrijven gezamenlijk overtuigd zijn van de meerwaarde en vertrouwen hebben in het concept kunnen richtlijnen worden aangepast en kan ook de overheid worden overtuigd om een nieuwe aanpak juridisch mogelijk te maken.

Implementatie: individueel en gezamenlijk stappen voorwaarts maken.

Het stappenplan is bedoeld om inzichtelijk te maken dat implementatie van de eerdere onderzoeksresultaten omvangrijker is dan een proef op pilotschaal. Het biedt een startpunt voor de bedrijven om hun eigen activiteiten en ambities op dit gebied in te bedden in een groter geheel. Het biedt aanknopingspunten voor het initiëren van nieuwe projecten binnen het BTO (thematisch- of bedrijfsonderzoek), het TKI, H2020 of anderszins. Daarnaast is het rapport bedoeld als een prikkeling voor modernisering van de bedrijfsvoering door gebruik te maken van nieuwe technologieën.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Implementatie automatische snelle detectie van fecale verontreiniging in het distributienet* (BTO-2018.018).

Referenties

BTO 2016.017 QMRA van het distributienet
BTO 2017.013 De reductie van het infectierisico met behulp van van on-line *E. coli*-sensoren in het distributienet; op basis van het QMRA-model
BTO 2017.014 Toegevoegde waarde online *E. coli*-sensor in het distributienet
BTO 2017.021 Implementatieplan snel meten na werkzaamheden
BTO 2017.039 Validatie van de *E. coli* bepaling met het on-line monitoringssysteem BACTcontrol
BTO 2017.080 Responsstrategie na meting *E. coli* door *E. coli*-sensoren
BTO 2017.086 Belemmeringen voor innovatie: verkenning van de drempels voor de implementatie van online *E. coli*-sensoren in het leidingnet

Inhoud

Inhoud	2
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding en doel van dit rapport	3
1.2 Waarom automatische snelle detectie van fecale verontreiniging bij distributie?	4
1.3 Voorgaande resultaten uit BTO onderzoeken	4
1.4 Succesfactoren voor implementatie	7
1.5 Aanpak en leeswijzer	8
2 Integrale strategie voor implementatie	9
2.1 Stappen om tot implementatie te komen	9
2.2 Informatiefase: gelijk kennisniveau	9
2.3 Meningsvorming: potentie voor eigen bedrijf bepalen	10
2.4 Experimenteren in het lab: vertrouwd raken met de technologie	12
2.5 Technische verbetering en ontwikkeling van <i>E. coli</i> -sensoren	13
2.6 Kleinschalige pilot in de praktijk (enkele <i>E. coli</i> -sensor)	13
2.7 Grootschalige pilot in de praktijk (sensornetwerk)	14
2.8 Historie opbouwen en vertrouwen kweken	14
2.9 Volledige implementatie	14
2.10 Samenwerking en commitment	15
3 Eindsituatie na implementatie	16
3.1 Inleiding en huidige situatie	16
3.2 Reguliere waterkwaliteitscontrole met <i>E. coli</i> -sensoren	18
3.3 Waterkwaliteitscontrole na werkzaamheden met <i>E. coli</i> -sensor	19
4 Experimenteren in het lab	21
4.1 Doelstelling van laboratorium-experimenten	21
4.2 Ervaring uit testen BACTcontrol	21
5 Grootschalige pilot in de praktijk	23
5.1 Overwegingen bij een pilot	23
5.2 Pilot reguliere monsternamen	23
5.3 Pilot monsternamen na werkzaamheden	26
6 Referenties	29
Bijlage I Factsheet interviews	30

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel van dit rapport

Elk jaar zijn er in Nederland een aantal besmettingen van het drinkwater distributienet met fecaliën (gemeten met behulp van *E. coli* en/of enterococcen). In het BTO-thema Hygiëne en Veiligheid is onderzoek uitgevoerd naar het gezondheids (infectie)risico t.g.v. dergelijke fecale verontreinigingen van het distributienet. Er is een Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)-model opgesteld en er zijn gegevens verzameld op basis waarvan een schatting van het risico is gemaakt. Vervolgens is onderzocht op welke manier *E. coli*-sensoren (die automatisch, snel en semi-continu een fecale verontreiniging in het distributienet kunnen detecteren) zouden kunnen bijdragen aan de betere borging van veilige distributie in de praktijk. Dit onderzoek heeft in totaal tot zeven BTO-rapporten geleid waarin steeds een of enkele aspecten zijn onderzocht.

Dit rapport is bedoeld om:

1. de resultaten samen te brengen tot een integraal overzicht van de belangrijkste bevindingen,
2. de conclusie dat *E. coli* sensoren een substantiële verbetering van de borging van de veiligheid van drinkwater tijdens distributie op kunnen leveren te onderbouwen en onderstrepen en
3. op basis daarvan een implementatieplan te presenteren voor dergelijke *E. coli*-sensoren.

Voor dit plan wordt een integrale strategie beschreven om tot volledige implementatie te komen van automatische snelle detectie van fecale verontreiniging in de praktijk. Dit omvat niet alleen de technische implementatie van deze *E. coli*-sensoren, maar ook veranderingen in organisatie, communicatie en werkwijze die daarmee samenhangen. In deze rapportage wordt dit geheel aangeduid als 'implementatie van *E. coli*-sensoren'. Onderscheiden wordt een informatiefase, een fase van voorbereiding en meningsvorming, een pilot op labschaal, een pilot met een enkele *E. coli*-sensor in de praktijk, en een pilot met een *E. coli*-sensornetwerk in de praktijk, en overleg met wetgever over het wettelijk kader.

In dit rapport wordt gesproken over *E. coli*-sensoren, omdat de onderliggende onderzoeken een specifieke *E. coli*-sensor betroffen en ook historische *E. coli* metingen uit de praktijk zijn gebruikt. In lijn met huidige, wettelijke, waterkwaliteitscontrole zouden ook enterococcen moeten worden gemeten door de sensor. Ook kunnen andere typen sensoren informatie geven over veranderende (microbiologische) waterkwaliteit en daarmee een mogelijke fecale verontreiniging detecteren. Aspecten als beschikbaarheid, geschiktheid en kosten van dergelijke sensoren kunnen aanleiding zijn om ze als vervangende of aanvullende meting in te zetten. In voorliggend rapport worden zij verder niet genoemd, omdat de focus ligt op het implementatietraject en minder op de verschillende mogelijkheden. De keuze welke (combinatie van) sensoren in te zetten maakt wel deel uit van het implementatietraject.

1.2 Waaron automatische snelle detectie van fecale verontreiniging bij distributie?

Geproduceerd drinkwater is schoon, maar het water kan tijdens opslag, transport en distributie fecaal verontreinigd worden. Routinematig wordt water daarom aan de kraan onderzocht op de aanwezigheid van fecale indicatororganismen *E. coli* en/of enterococcen, conform de wettelijk voorgeschreven frequentie. Daarnaast wordt na werkzaamheden of andere risicomomenten het water hierop onderzocht. Op dit moment worden daartoe monsters genomen, naar het laboratorium getransporteerd en daar geanalyseerd. Dit is tijdrovend en kost veel arbeidstijd. Inzetten van automatische snelle detectie met *E. coli*-sensoren zou sneller resultaten opleveren en minder menselijk handelen kosten. Om de waarde hiervan te evalueren zijn in het BTO diverse onderzoeken uitgevoerd die hier kort zijn samengevat, en in de volgende paragraaf iets uitgebreider zijn beschreven.

De belangrijkste conclusie is dat implementatie van *E. coli*-sensoren de mogelijkheid biedt om de volksgezondheid veel beter te beschermen door een hogere meetfrequentie tegen beperkte meerkosten en door een veel snellere respons door snellere uitslag van de meting. Ook de impact op de klanten wordt daardoor beperkt: klanten worden minder en korter getroffen. Verontreinigingsincidenten treden weliswaar zelden op, maar in die gevallen zijn de kosten en maatschappelijke impact wel hoog. Een bijkomend voordeel van implementatie van *E. coli*-sensoren is dat ook de kosten in geval van een incident lager zijn. Hierbij wordt opgemerkt dat de incidenten in het verleden vaak zijn opgemerkt door de reguliere monitoring, ondanks het feit dat de oorzaak soms wel degelijk werkzaamheden waren en ondanks het feit dat de reguliere monitoring een lage detectiekans heeft, met name voor incidenten die relatief benedenstrooms in het netwerk optreden of maar gedurende korte tijd. Het is dus mogelijk dat er vaker incidenten optreden die tot nu toe onopgemerkt blijven.

Implementatie van sensoren voor waterkwaliteitscontrole na werkzaamheden maakt snellere afronding en vrijgave van werkzaamheden mogelijk. Dit biedt waarschijnlijk financiële baten bij de projectuitvoering en biedt voordelen bij het plannen van meerdere achtereenvolgende werkzaamheden. Daarnaast biedt het ook een betere bescherming van de klant door een kortdurend (preventief) kookadvies.

Tegenover deze baten staan investeringskosten voor de realisatie, en transitiekosten voor het veranderen van de organisatie en training van medewerkers. Het afwegen van al deze kosten en baten vergt een overkoepelende blik over de gehele organisatie en visie van het management op investeren in voldoende en efficiënte bescherming van de gezondheid van de klanten.

1.3 Voorgaande resultaten uit BTO onderzoeken

Het voordeel van *E. coli*-sensoren voor automatische snelle detectie van fecale verontreiniging in het distributienet, kortweg *E. coli*-sensoren genoemd, ten opzichte van de traditionele monsternamen en analyse (met de kweekmethode) op het laboratorium, is dat er veel frequenter metingen gedaan (kunnen) worden, en dat de uitslag sneller bekend is. Door op een beperkt aantal locaties zeer frequent (namelijk semi-continu, bijvoorbeeld iedere 4 uur een meting) te meten wordt de waterkwaliteit veel beter geborgd dan door op meer locaties eens in de twee weken/maand een steekmonster te nemen. Het aantal sensorlocaties wordt veelal beperkt door de kosten van de *E. coli*-sensoren. Frequenter meten met dezelfde detectiegrens (hetzelfde monstervolume) leidt tot een hogere detectiekans; de detectiekans kan nog verder worden verhoogd door de meetlocaties zo slim mogelijk te kiezen (BTO 2009.008, Blokker en Vogelaar 2009). De meetlocaties kunnen ook zodanig worden gekozen dat de potentiële reductie van het infectierisico zo groot mogelijk is (BTO 2017.013, Blokker en van Laarhoven 2017). Met kennis van de kans op een fecale verontreiniging in het distributienet (locatie, concentratie, tijdstip) en het effect hiervan

(aantal infecties t.g.v. consumptie van ongekookt drinkwater) kan vorm worden gegeven aan een risicogestuurde monitorstrategie (BTO 2016.017, Blokker et al. 2016), zoals wordt aanbevolen in de Water Safety Plans (Bartram 2009). Dit rapport probeert duidelijk te maken hoe een dergelijke strategie kan worden vormgegeven.

In het BTO-thema Hygiëne en Veiligheid is onderzoek gedaan naar het bepalen van het infectierisico t.g.v. fecale verontreiniging in het distributienet. Er is QMRA-model opgesteld op basis waarvan een grove schatting van het risico is gemaakt (BTO 2016.017, Blokker et al. 2016). Vervolgens is onderzocht op welke manier *E. coli*-sensoren zouden kunnen bijdragen aan de borging van veilige distributie in de praktijk, zie kader. De aspecten die onderzocht zijn, zijn kosten en potentiële baten (BTO 2017.014, Blokker en Smeets 2017), de potentiële risicoreductie gegeven praktische omstandigheden zoals de mogelijke respons tijdens een calamiteit, en de invloed van het aantal *E. coli*-sensoren en van de locatie van de *E. coli*-sensoren (BTO 2017.080, Blokker en Mesman 2017; BTO 2017.013, Blokker en van Laarhoven 2017), de prestatiekenmerken van een beschikbare *E. coli*-sensor (BTO 2017.039, van Bel 2017) en welke (niet-) technische belemmeringen de implementatie van *E. coli*-sensoren in de weg kunnen staan (BTO 2017.086, Hessels en Bergsma 2017), zie verder kader. Een test in de praktijk met een netwerk van *E. coli*-sensoren in het distributienet is echter nog niet gedaan. Eind 2016 was de themagroep Hygiëne en Veiligheid nog van mening dat het te vroeg was om een pilot te starten, omdat nog veel twijfels waren over de kwaliteit van de *E. coli*-sensoren en omdat men inschatte dat een pilot waarbij nooit positieve monsters worden aangetroffen weinig waardevol is.

De conclusies uit voorgaande onderzoeken kunnen als volgt worden samengevat:

- De gezondheid kan beter worden beschermd met *E. coli*-sensoren voor automatische snelle detectie van een fecale verontreiniging in het distributienet.
- De inzet van *E. coli*-sensoren kan bij werkzaamheden de projectkosten verlagen, o.a. door snellere oplevering.
- Met *E. coli*-sensoren kan de reguliere waterkwaliteitsbewaking kosteneffectief worden verbeterd.
- Er zijn organisatorische belemmeringen om bewaking met *E. coli*-sensoren te implementeren, die kunnen worden weggenomen door ervaring op te doen met deze *E. coli*-sensoren.
- Er zijn juridische beperkingen, omdat wettelijk is vastgelegd dat op het tappunt moet worden bemonsterd en de analysemethoden zijn voorgeschreven.
- Implementatie van *E. coli*-sensoren vraagt investeringen en transitiekosten
- Begin 2018 lijkt er nog geen *E. coli*-sensor op de markt waarmee even gevoelig *E. coli* online in het distributienet kan worden gemeten als met de kweekmethode in het laboratorium. Huidige *E. coli*-sensoren kunnen daarom niet de reguliere kwaliteitscontrole vervangen. Verwachting is dat voldoende gevoelige *E. coli*-sensoren wel zullen worden ontwikkeld.
- Er zijn ook andere technische beperkingen om optimaal gebruik te maken van de mogelijkheden die *E. coli*-sensoren bieden. Verwacht wordt dat deze zullen worden opgelost.

Uit bovenstaand overzicht blijkt dat alleen het oplossen van de technische beperkingen niet vanzelf zal leiden tot succesvolle implementatie. Daarom wordt in dit rapport een integrale strategie voorgesteld waarbij ook niet-technische belemmeringen om tot implementatie te komen worden geadresseerd. Daarbij worden de situatie na werkzaamheden en reguliere monsternamen apart beschouwd.

SAMENVATTING CONCLUSIES RAPPORTEN IN HET KADER VAN “AUTOMATISCHE SNELLE DETECTIE FECALE VERONTREINIGING DISTRIBUTIE”

In het BTO-project “Automatische snelle detectie fecale verontreiniging distributie” is in 2016-2017 onderzocht hoe implementatie van *E. coli*-sensoren voor fecale verontreiniging de borging van veilige distributie in de praktijk zou kunnen veranderen. Daartoe zijn verscheidene stappen gezet in het onderzoek:

Eén van de beschikbare *E. coli*-sensoren, namelijk de BACTcontrol, is gevalideerd (BTO 2017.039, van Bel 2017). Deze *E. coli*-sensor is nu nog niet voldoende gevoelig, maar de ontwikkelingen staan niet stil. Er is nu wel een methodiek beschikbaar waarmee nieuwe *E. coli*-sensoren kunnen worden beoordeeld (van Bel 2017). Voor inzet van dit soort apparatuur na werkzaamheden is een aanpassing nodig van de huidige monitoringsapparatuur zodat deze makkelijk kan worden verplaatst. Drinkwaterbedrijven, -laboratoria en hun onderzoekspartners wordt aanbevolen met de technologieontwikkelaars samen te werken om snel tot de gewenste specificaties te komen.

De kosten en baten van een *E. coli*-sensornetwerk zijn in beeld gebracht (BTO 2017.014, Blokker en Smeets 2017). De kosten van een *E. coli*-sensornetwerk zijn anno 2017 nog relatief hoog, maar deze grotere investering zou wel leiden tot een duidelijk hoger veiligheidsniveau. Wanneer dit verhoogde veiligheidsniveau met de huidige monsternamen gegarandeerd zou moeten worden zou dit veel duurder zijn dan het *E. coli*-sensornetwerk.

Het effect van een *E. coli*-sensornetwerk op de beperking van het infectierisico is met behulp van een model gekwantificeerd (BTO 2017.013, Blokker en van Laarhoven 2017). Op het moment dat er een verontreiniging is, geeft een *E. coli*-sensornetwerk de mogelijkheid om het infectierisico tot 25% te reduceren. Dat geldt vooral voor verontreinigingen die tijdens normale operationele omstandigheden optreden, en die niet of pas relatief laat door reguliere monsternamen worden gedetecteerd. Het infectierisico t.g.v. verontreinigingen tijdens werkzaamheden kan tot 80% worden gereduceerd door standaard een preventief kookadvies te geven, en relatief snel (t.o.v. de huidige analysemethode) het kookadvies weer te kunnen opheffen.

De kans op een verontreiniging is niet groot, maar hoe klein deze is, is met de huidige methodiek niet te meten (BTO 2016.017, Blokker et al. 2016). Een *E. coli*-sensornetwerk kan bijdragen aan het met meer zekerheid bepalen van de verontreinigingskans en de kans op het vinden van de verontreinigingsoorzaak vergroten (BTO 2017.014, Blokker en Smeets 2017).

De bijdrage van een *E. coli*-sensornetwerk aan de beheersing van een verontreiniging en de reductie van het infectierisico is sterk afhankelijk van de respons als een *E. coli*-sensor signaleert dat *E. coli* aanwezig is. Om de snelheid van respons in de praktijk te toetsen is in samenwerking

met Vitens een oefening uitgevoerd van een gesimuleerde verontreiniging van het leidingnet van NW-Friesland met behulp van een hydraulisch leidingnetmodel (BTO 2017.080, Blokker en Mesman 2017). Toepassing van *E. coli*-sensoren die online *E. coli* in het leidingnet meten, kan leiden tot een reductie van 94% in het aantal adressen dat verontreinigd drinkwater ontving in de incidentenoefening. Een verdere reductie met 5,4 procentpunt en betere bronopsporing waren mogelijk geweest door beter gebruik te maken van actuele hydraulische modellen.

De modelstudies laten zien dat er waarde en toekomst zit in een *E. coli*-sensornetwerk. Onderzocht is wat mogelijke belemmeringen zijn voor een drinkwaterbedrijf om een *E. coli*-sensornetwerk te installeren aan de hand van interviews bij Vitens en Brabant Water (BTO 2017.086, Hessels en Bergsma 2017). Er kwam een positief beeld naar voren m.b.t. de inzet van automatische detectie. De respondenten verwachten grote voordelen voor de bewaking van de kwaliteit van leidingwater, o.a. doordat informatie sneller beschikbaar komt, betrouwbaarder is en er ook meer informatie is. De belangrijkste niet-technische belemmeringen die de respondenten ervaren bij de implementatie van dit soort *E. coli*-sensoren liggen op het vlak van het “inregelen” van de techniek in de organisatie (plus de bijbehorende kosten) en in de bestaande wetgeving rondom kwaliteitsbewaking.

De conclusie uit zowel de incidentoefening (Blokker en Mesman 2017) als uit het onderzoek naar mogelijke belemmeringen voor implementatie (BTO 2017.086, Hessels en Bergsma 2017) is dat waterbedrijven meer ervaring moeten opdoen met *E. coli*-sensoren. Aanbevolen wordt om daartoe een pilot in te richten.

1.4 Succesfactoren voor implementatie

Uit het onderzoek naar de niet-technische belemmeringen (Hessels en Bergsma 2017) kwam naar voren dat het besluit tot implementatie van *E. coli*-sensoren voor automatische snelle detectie van een fecale verontreiniging in het distributienet niet door mensen van slechts één afdeling genomen wordt of kan worden. Het is daarom belangrijk dat voor het slagen van een pilot dat veel verschillende afdelingen worden betrokken. In het onderzoek in 2017 is dat ook al deels gedaan door interviews te houden met mensen van productie, distributie, waterkwaliteit, de calamiteitenorganisatie en innovatie (Hessels en Bergsma 2017), en door een incidentoefening te doen met mensen van distributie, waterkwaliteit en de calamiteitenorganisatie (Blokker en Mesman 2017).

Een andere belangrijke succesfactor voor implementatie van de onderzoeksresultaten is dat de drinkwaterbedrijven hierin gezamenlijk optrekken (Hessels en Schalkwijk 2017), van elkaar leren en gezamenlijk tot een conclusie kunnen komen over nut en noodzaak van *E. coli*-sensoren voor kwaliteitsbewaking van het distributienet. Dat betekent dat niet alleen ervaring wordt opgedaan in een waterbedrijf, maar ervaringen ook worden gedeeld, en gedurende de pilot en de verdere implementatie ook verbeteringen kunnen worden doorgevoerd. Gezamenlijk kunnen de drinkwaterbedrijven ook de wetgeving beïnvloeden om implementatie mogelijk te maken. Dit zou bijvoorbeeld in een gezamenlijk BTO bedrijfsonderzoek kunnen plaatsvinden.

1.5 Aanpak en leeswijzer

Op basis van de uitkomsten van de diverse BTO-projecten lijkt implementatie van *E. coli*-sensoren zinvol. Om deze implementatie te bevorderen, doen we in dit rapport een handreiking in de vorm van een integrale strategie. Het doel van dit rapport is ten eerste dat het zo goed mogelijk een compleet beeld geeft van wat er komt kijken bij de implementatie van *E. coli*-sensoren, en ten tweede dat het praktische handreikingen geeft bij verscheidene fases in de implementatie. Deze praktische handreikingen zijn zoveel mogelijk in dit rapport ingevoegd, zodat niet in allerlei rapporten geshopt hoeft te worden; voor onderbouwing en achtergrondinformatie wordt verwezen naar de verschillende BTO-rapporten die m.b.t. dit onderwerp zijn verschenen.

Hoofdstuk 2 beschrijft een integrale strategie om tot volledige implementatie te komen van *E. coli*-sensoren. Onderscheiden wordt een informatiefase, een fase van voorbereiding en meningsvorming, technologische ontwikkeling van de sensor, een pilot op labschaal, een pilot met een enkele *E. coli*-sensor in de praktijk, en een pilot met een *E. coli*-sensornetwerk in de praktijk, en overleg met wetgever over het wettelijk kader. Dit hoofdstuk is een veelal procesmatige beschrijving die ook meer algemeen kan worden toegepast op het implementeren van nieuw meetmethoden of technologieën.

Drie aspecten m.b.t. de praktische handreiking hebben wat meer toelichting nodig en zijn daarom in aparte hoofdstukken verder uitgewerkt. Hoofdstuk 3 ondersteunt de meningsvorming, en beschrijft hoe risicogestuurde monitoring m.b.t. fecale verontreiniging van het distributienet er uit zou kunnen zien nadat een en ander geïmplementeerd is. Dit hoofdstuk is gebaseerd op BTO 2017.014 (Blokker en Smeets 2017). Hoofdstuk 4 beschrijft hoe een waterbedrijf *E. coli*-sensoren kan testen in het lab. Het hoofdstuk is gebaseerd op BTO 2017.039 (van Bel 2017). Hoofdstuk 5 beschrijft hoe een waterbedrijf een pilot met een *E. coli*-sensornetwerk op praktijkschaal kan inrichten voordat het overgaat tot volledige implementatie. Daarbij komen verscheidene vragen aan bod die in de pilot beantwoord moeten worden. Dit ondersteunt zowel de meningsvorming (stappenplan voor implementatie) als de voorbereiding van een eventuele pilot. De informatie in dit hoofdstuk is nieuw, en is gebaseerd op de ervaringen in het voorgaande onderzoek en de ervaring met het inrichten van pilots. Bijlage I bevat de facsheet die ontwikkeld is voor de informatiefase voor de interviews (Hessels en Bergsma 2017) en ook hier in de informatiefase gebruikt kan worden.

In deze rapportage wordt telkens onderscheid gemaakt tussen monitoring onder reguliere operationele omstandigheden en na werkzaamheden aan het distributienet. In de afweging die een waterbedrijf maakt om tot een pilot of implementatie over te gaan, is het goed mogelijk dat meerwaarde alleen gezien wordt voor monitoring onder reguliere operationele omstandigheden of monitoring na werkzaamheden aan het distributienet.

2 Integrale strategie voor implementatie

2.1 Stappen om tot implementatie te komen

Het proces om van een veelbelovende technologie of concept tot toepassing in de praktijk te komen kan in een aantal stappen worden beschreven. Hier zijn deze stappen omschreven voor de specifieke implementatie van automatisch snel meten van fecale verontreiniging, maar deze aanpak is ook op andere technologieën en concepten toepasbaar.

1. Informatiefase: gelijk kennisniveau bij betrokken afdelingen van het drinkwaterbedrijf
2. Meningsvorming: potentie voor eigen bedrijf bepalen:
 - a. Wat is de eindsituatie?
 - b. Wat zijn de kosten en baten?
 - c. Welke belemmeringen zijn er?
 - d. Simulatie/serious game
 - e. Wat is de motivatie van het bedrijf voor implementatie?
 - f. Wanneer is implementatie een succes voor het bedrijf?
 - g. Besluit wel/niet pilot + bedrijfsbreed stappenplan
3. Experimenteren in het lab: vertrouwd raken met de technologie, experimenteren
4. Technische verbetering en ontwikkeling van *E. coli*-sensoren
5. Kleinschalige pilot in de praktijk (enkele *E. coli*-sensor)
6. Grootschalige pilot in de praktijk (sensornetwerk)
7. Historie opbouwen en vertrouwen krijgen
8. Volledige implementatie

2.2 Informatiefase: gelijk kennisniveau

De hier genoemde BTO onderzoeken bereiken vaak maar een deel van de personen binnen de drinkwaterbedrijven voor wie de waterkwaliteitscontrole van belang is, zoals waterkwaliteitsmanagers. Implementatie van sensoren zal echter inzet vragen van verscheidene onderdelen van de organisatie. Het is daarom belangrijk dat deze worden betrokken bij het implementatietraject. Hierbij kan worden gedacht aan de volgende bedrijfsonderdelen (verschilt per organisatie):

- Hoger management (MT);
- Kwaliteitsmanagement en risicomanagement
- Waterkwaliteitsmanagement;
- Laboratorium en monsternemers;
- Crisismanagement;
- Projecten (distributie), planning en uitvoering;
- Automatisering, informatietechnologie;
- Communicatie .

Zij moeten voldoende kennis hebben over implementatie van *E. coli*-sensoren om te kunnen bepalen welke impact dit kan hebben op hun werkzaamheden. Dit kunnen zowel voor- als nadelen zijn. Om voldoende draagvlak te verwerven, is het belangrijk dat de voordelen op verscheidene plaatsen in de organisatie bekend zijn. Alleen als alle betrokkenen voldoende

kennis hebben, en dezelfde uitgangspunten hanteren, kan de volgende implementatiestap – de voorbereiding voor een mogelijke pilot – worden gezet.

Gezien de omvang en diepgang van de verschillende onderzoeksrapporten zijn deze niet geschikt om medewerkers van de verschillende bedrijfsonderdelen op de hoogte te brengen. Een interactieve workshop waarin uitleg plaatsvindt, maar ook vragen worden gesteld en ideeën uitgewisseld is daarvoor meer geschikt. De factsheet die gebruikt is ter informatie vóór de interviews in het onderzoek naar mogelijke belemmeringen (Hessels en Bergsma 2017) kan als introductie worden gebruikt (zie Bijlage I).

In een later stadium zou een kort bericht op intranet, een filmpje of animatie kunnen worden gebruikt om de gehele organisatie op de hoogte te brengen van het concept en hoe het bedrijf dat implementeert.

2.3 Meningsvorming: potentie voor eigen bedrijf bepalen

2.3.1 Inleiding

Om de potentie van implementatie van *E. coli*-sensoren voor het eigen bedrijf te kunnen bepalen, zijn een aantal stappen nodig, voordat gedacht wordt aan een pilot. In deze voorbereidende fase, wordt de basis gelegd om een besluit te kunnen nemen of implementatie gewenst is. Door hierbij dezelfde bedrijfsonderdelen te betrekken wordt draagvlak en eigenaarschap gecreëerd. Daaruit volgt ook welke zaken belangrijk zijn om ervaring mee op te doen, en hoe een pilot daarvoor ingericht kan worden. In de voorbereidende fase wordt aandacht besteed aan de kosten en baten van implementatie van *E. coli*-sensoren in de volle breedte:

1. Hoe ziet de bedrijfsvoering eruit met implementatie van *E. coli*-sensoren (eindsituatie)?
2. Welke kosten brengt dit met zich mee, in apparatuur, onderhoud, omscholing, bedrijfsvoering etc.? En wat levert het op qua waterkwaliteitsbewaking, bedrijfsvoering, imago, etc. (kosten en baten)?
3. Welke belemmeringen of bedreigingen zien de betrokken medewerkers?
4. Om de bepaling van kosten en baten niet alleen een papieren exercitie te laten zijn, maar ook te toetsen kan een calamiteitenoefening worden nagespeeld (simulatie / serious game).
5. Op basis van de informatie uit de eerste stappen kan op MT-niveau worden bepaald wat de belangrijkste motivatie is om implementatie van *E. coli*-sensoren te implementeren (motivatie van het bedrijf).
6. Vanuit de motivatie (op strategisch niveau) kan een vertaling worden gemaakt naar een concreter doel (op tactisch of operationeel niveau), en daar kunnen ook randvoorwaarden en prestatie-indicatoren voor worden opgesteld (wanneer is implementatie een succes).
7. De beslissing om wel of niet tot implementatie over te gaan wordt gebaseerd op goed onderbouwde kosten en baten, en vertrouwen in een (meetbaar) implementatietraject.

2.3.2 Eindsituatie

Implementatie zal een geleidelijk proces zijn, waarbij losse stappen mogelijk niet meteen een voordeel opleveren en daarom weerstand kunnen oproepen. Het is daarom belangrijk om een beeld te schetsen van de toekomstige situatie waarin *E. coli*-sensoren volledig zijn geïmplementeerd en geïntegreerd in de organisatie. Zo kan een integrale kosten-baten afweging worden gemaakt voor de gehele organisatie. Op basis daarvan kunnen besluiten worden genomen over investeringen in middelen en mensen. Dit helpt ook om gedurende het traject mensen te motiveren en draagvlak te creëren binnen de organisatie. In Hoofdstuk 3 is een voorbeeld opgenomen van een eindsituatie. Aanbevolen wordt om dit toe te spitsen

op het eigen bedrijf en te vergelijken met hoe de huidige waterkwaliteitsbewaking eruit ziet. Ook kan het helpen om er een verhaal van te maken, of een cartoon, of een filmpje.

2.3.3 Kosten en baten

Welke kosten brengt implementatie van sensoren met zich mee, in apparatuur, onderhoud, omscholing, bedrijfsvoering, vergelijking met huidige waterkwaliteitsbewaking (dubbel meten) etc.? En wat levert het op qua waterkwaliteitsbewaking, bedrijfsvoering, imago, etc.? De kosten en baten zijn kwalitatief en voor een voorbeeld van een voorzieningsgebied ook kwantitatief uitgewerkt (Blokker en Smeets 2017), zie ook § 1.2 en § 1.3 voor een samenvatting. Het rapport biedt een goede start om alle kosten en baten voor het eigen bedrijf op een rijtje te zetten, d.w.z. een kwalitatieve analyse. Ook de verwachtingen (positief en negatief) van de medewerkers van de verschillende afdelingen die zijn geïnformeerd (§ 2.2) worden geïnventariseerd. Vervolgens kan bepaald worden welke aspecten de meest relevante zijn, en deze worden vervolgens zo goed mogelijk gekwantificeerd. In het rapport (Blokker en Smeets 2017) kunnen kentallen worden gevonden voor die kwantificering. Het afwegen van deze kosten en baten vergt een overkoepelende blik over de gehele organisatie en visie van het management omdat het zowel financiële als kwalitatieve aspecten betreft.

2.3.4 Belemmeringen en bedreigingen

Uit interviews met verschillende afdelingen bleek dat er belemmeringen zijn voor implementatie en dat medewerkers ook bedreigingen zien (Hessels en Bergsma 2017). Er zijn grote verschillen gevonden tussen de perspectieven en verwachtingen van Vitens en Brabant Water over de *E. coli*-sensoren, en de belemmeringen die ze ervaren. Voor een geslaagde implementatie moet ieder bedrijf dus zijn eigen leerproces doormaken. Door de belemmeringen en bedreigingen expliciet te maken en te adresseren in een implementatietraject wordt draagvlak gecreëerd en de voortgang bevorderd.

2.3.5 Simulatie/serious game

Om de bepaling van kosten en baten niet alleen een papieren exercitie te laten zijn, maar ook te toetsen kan een calamiteitenoefening worden nagespeeld. Het simuleren van de eindsituatie in de vorm van een 'serious game' kan inzicht verschaffen in de mogelijkheden en de beperkingen van de implementatie van een nieuwe aanpak. Dit is in 2017 bij Vitens uitgevoerd (Blokker en Mesman 2017). Daarbij worden mensen van diverse afdelingen een middag bijeen gebracht om een verontreinigingsincident in de beoogde eindsituatie na te spelen, ondersteund door modellering. In een leidingnetmodel worden virtueel *E. coli*-sensoren geplaatst. Vervolgens wordt een verontreinigingsincident gesimuleerd, en wordt met het model berekend welke *E. coli*-sensoren wanneer een signaal geven. De deelnemers krijgen alleen deze signalen door en moeten op basis daarvan reageren, bijvoorbeeld door afsluiters te sluiten en kookadviezen te geven. Het effect hiervan wordt weer doorgerekend met het model om nieuwe signalen te geven vanuit de *E. coli*-sensoren. De doorlooptijd wordt hierbij versneld zodat het gehele incident van enkele dagen in een middag kan worden doorlopen. Enerzijds kan hiermee de blootstelling van de bevolking in de toekomstige situatie worden vergeleken met de huidige situatie. Anderzijds ontstaat inzicht in de mogelijkheden en potentie van het nieuwe systeem, maar ook welke organisatorische veranderingen nodig zijn om daarvan optimaal te profiteren. Op basis van deze stap kunnen kosten en baten mogelijk nog worden aangescherpt.

2.3.6 Motivatie van het bedrijf

Los van de financiële kosten en baten kan een bedrijf ook andere motivaties hebben om sensoren te implementeren. Voorbeelden zijn de wens om een modern, innovatief bedrijf te zijn, of het beter informeren van klanten of het bereiken van een hoger beschermingsniveau van de klant. Hoewel de nadruk in veel bedrijven heeft gelegen op financiële aspecten, onder

andere door de 'benchmark', lijkt er nu meer ruimte voor andere ambities en doelen. Implementatie van *E. coli*-sensoren kan bijdragen aan reeds gestelde doelen, of aanleiding zijn om een nieuw doel te stellen. Het gaat hier om strategische doelen van een drinkwaterbedrijf. Op basis van de informatie uit de eerste stappen kan op MT-niveau worden bepaald wat de belangrijkste motivatie is om sensoren wel of niet te implementeren.

2.3.7 Wanneer is implementatie een succes?

De motivatie is ingegeven door strategische doelen van het bedrijf. Dit moet vertaald worden naar doelen op tactisch of operationeel niveau. Bij die vertaling horen ook randvoorwaarden en prestatie-indicatoren om te kunnen bepalen of implementatie een succes is, of wanneer tussentijds moet worden bijgestuurd.

De eindsituatie die wordt geschetst wordt mogelijk niet bereikt, bijvoorbeeld door technische, organisatorische of wettelijke beperkingen. Ook verandert de beoogde eindsituatie mogelijk door nieuwe inzichten gedurende de implementatie. Daarom is het goed vooraf duidelijke, meetbare doelen te stellen waarmee kan worden geëvalueerd of het implementatietraject een succes is. Daarmee kan worden voorkomen dat bij kleine tegenvallers het implementatietraject wordt afgebroken.

2.3.8 Besluit tot pilot en bedrijfsbreed stappenplan

Op basis van bovenstaande stappen in de voorbereiding kan worden besloten of implementatie gewenst is. Hoogstwaarschijnlijk zijn er nog vragen die openstaan, en pas kunnen worden beantwoord in de praktijk. Het besluit tot grootschalige implementatie zal worden uitgesteld totdat in een pilot meer ervaring is opgedaan. In deze stap is het belangrijk om de vragen die nog open staan te identificeren.

Zoals in § 2.2 is aangegeven zullen veel bedrijfsonderdelen betrokken zijn bij het implementatietraject. Het is belangrijk dat veranderingen in die organisatieonderdelen tijdig in gang worden gezet en niet achtereenvolgend worden uitgevoerd. Dat zou immers het implementatietraject vertragen. Anderzijds kunnen binnen die onderdelen, en ook extern, veranderingen plaatsvinden die van invloed zijn op het implementatietraject. Ook deze veranderingen moeten worden opgemerkt en leiden mogelijk tot een aanpassing van het stappenplan.

Het stappenplan zal zeker bestaan uit

- Besluit tot een pilot.
- Identificeren van openstaande vragen.
- Opstellen implementatieplan voor technologie van de *E. coli*-sensor.
- In overleg met technologieleverancier minimale eisen opstellen en eventueel betrokken zijn bij de verdere ontwikkeling
- Opstellen implementatieplan voor praktische aspecten van de *E. coli*-sensor.
- Opstellen implementatieplan voor praktische aspecten van een *E. coli*-sensornetwerk.
- Tijdsplan maken.
- Middelen en personen vrijmaken

2.4 Experimenteren in het lab: vertrouwd raken met de technologie

Mensen en organisaties zijn vertrouwd met de huidige methoden en hebben vaak reserveringen ten aanzien van nieuwe technieken. Naast de validatie van een techniek, bijvoorbeeld als onderdeel van BTO onderzoek, is het belangrijk dat de mensen die ermee zullen werken zelf ervaring opdoen. Daarnaast moeten de personen die met de resultaten gaan werken, en beslissingen daarop moeten baseren, vertrouwen krijgen in de meetresultaten. De beslissingen kunnen immers ingrijpend zijn, zoals een kookadvies of

opschaling en inschakeling van het crisisteam. Zowel het optreden van 'vals-positieven' als 'vals-negatieven' is dan ongewenst.

Kleinschalige experimenten op het laboratorium of in een proefopstelling bij het bedrijf zelf is daarvoor de eerste stap. In die situatie kan de waterkwaliteit worden beheerst en verontreinigingen (bijv. oppervlaktewater) kunnen worden geïntroduceerd. Resultaten van de nieuwe techniek zullen worden vergeleken met de huidige methoden (kweek en bijv. qPCR en RT-PCR). Daarbij is belangrijk zich te realiseren dat ook huidige methoden beperkingen hebben en vals-positieve of -negatieve resultaten kunnen geven. Bovendien vinden metingen plaats rond de meetgrens, en betreft het vaak de aan- of afwezigheid van een enkel micro-organisme. Kansverdeling speelt daardoor een rol bij de verwachte resultaten. Het uiteindelijke doel, detectie van fecale verontreiniging, dient daarom altijd als referentiepunt te worden meegenomen. In deze fase kan ook worden besproken hoe men in het bedrijf omgaat met de resultaten die de nieuwe techniek geeft. Dit kan afwijken van het koloniegetal dat in een laboratorium wordt bepaald, bijvoorbeeld af- of aanwezigheid, een verhoging van het meetsignaal, of een combinatie van meerdere afwijkende meetsignalen. Het ontbreken van een wettelijke toetswaarde voor dergelijke uitslagen maakt het nodig dat bedrijven deze zelf stellen.

2.5 Technische verbetering en ontwikkeling van *E. coli*-sensoren

De *E. coli*-sensoren worden door technologiebedrijven ontwikkeld, waarbij de drinkwaterbedrijven een belangrijke doelgroep zijn. Er wordt daarom al regelmatig samengewerkt met technologiebedrijven om de *E. coli*-sensoren te testen, waarbij soms ook gezamenlijk ontwikkeld wordt. Dit gebeurt zowel door individuele bedrijven als in gezamenlijke trajecten zoals het BTO of TKI. Voor het implementatietraject kan een bedrijf dit op verschillende manieren invullen, al dan niet in samenwerking met andere bedrijven:

- Afwachten wat de technologiebedrijven aanbieden.
- Opstellen van programma van eisen waaraan een *E. coli*-sensor moet voldoen.
- Kiezen voor een of meerdere kansrijke technologieën.
- Delen van eigen testresultaten met technologieleverancier.
- Meedenken of ontwikkelen van de technologie, in een BTO-, TKI- of andere projectvorm.
- Zelf technologie ontwikkelen.

2.6 Kleinschalige pilot in de praktijk (enkele *E. coli*-sensor)

Wanneer men voldoende vertrouwd is met de techniek kan worden overgegaan op een kleinschalige pilot. Dit kan bijvoorbeeld door het plaatsen van een enkele *E. coli*-sensor in de praktijk; of door een enkele *E. coli*-sensor in te zetten na werkzaamheden. Dit levert vooral informatie over praktische aspecten zoals:

- Hoe bepaal je een optimale én praktische locatie?
- Wat is nodig bij plaatsing van een *E. coli*-sensor (energie, water, communicatie)?
- Hoeveel storingen treden op, welk onderhoud is nodig?
- Treedt er vaak een alarm op, en is dat dan terecht? (mogelijk treed er geen alarm op gedurende de pilot)
- Zijn er technische aanpassingen nodig aan de sensor of aansluitingen?

2.7 Grootschalige pilot in de praktijk (sensornetwerk)

Op basis van deze ervaringen kan een grootschalige pilot worden gestart. Daarbij worden in een deel van het voorzieningsgebied het benodigde aantal *E. coli*-sensoren geplaatst. Deze worden geïntegreerd in de bedrijfsvoering, zowel technisch (communicatie) als in procedures en organisatie. Deze integratie zal geleidelijk plaatsvinden, waarbij bijvoorbeeld alarmen in eerste instantie handmatig worden verwerkt. In deze fase zal ervaring worden opgedaan met alle praktische aspecten en kan het bedrijf operationeel geleidelijk veranderen. Hoofdstuk 4 beschrijft in meer detail hoe een pilot eruit ziet.

2.8 Historie opbouwen en vertrouwen kweken

Hessels en Bergsma (2017) hebben grote verschillen gevonden tussen de perspectieven en verwachtingen van Vitens en BW over de techniek, en de belemmeringen die ze ervaren. Voor een geslaagde implementatie moet ieder bedrijf dus zijn eigen leerproces doormaken, en is per individueel bedrijf een uitgebreid traject van meningsvorming nodig. In deze fase kunnen waterbedrijven wel ervaringen uitwisselen; in de latere fases waarin technische ontwikkelingen plaatsvinden en pilots worden gedaan is samen optrekken zeker aan te bevelen. Ook voor het opbouwen van historie, en het kweken van zowel intern als extern vertrouwen is samenwerking zeer gewenst. Tijdens de grootschalige pilot wordt vertrouwen en ervaring opgebouwd in de technologie en het systeem als geheel. Dit zal ook afhankelijk zijn van toevallige gebeurtenissen tijdens de pilot, bijvoorbeeld het optreden van een verontreinigingsincident. Deze ervaring en meethistorie kan worden gebruikt om het overgaan op de nieuwe methode te accepteren. In eerste instantie door het bedrijf zelf. Wanneer blijkt dat meerdere bedrijven tot implementatie willen over gaan (op basis van eigen of gedeelde resultaten) kan binnen de sector worden afgestemd welke eisen daaraan moeten worden gesteld. Dit kan bijvoorbeeld in de aanpassing van de Hygiëncode OTD (Meerkerk 2016) resulteren. De waterkwaliteitscontrole na werkzaamheden is daarin vastgelegd, en kan dus naar eigen inzicht van de drinkwaterbedrijven worden aangepast. Daarnaast kan dit de wetgever overtuigen van de betrouwbaarheid van de nieuwe aanpak en er mogelijk toe leiden dat de huidige wettelijk voorgeschreven reguliere monsternamen aan de tap niet langer nodig is. De validatie van de methode in stap 2.4 is daarvoor mogelijk onvoldoende. Het aantonen van 'gelijkwaardigheid' aan wettelijk geaccepteerde methoden stuit mogelijk op verschillen meetprincipe. De nieuwe methode hoeft niet perfect te zijn, om toch al beter te zijn dan de huidige aanpak. Het is dus belangrijk om de vergelijking te blijven maken op basis van bescherming volksgezondheid. Ook zal blijken of de beoogde baten werkelijk worden gerealiseerd. Zelfs wanneer het huidige wettelijke meetprogramma nodig blijft kunnen de baten toch opwegen tegen de kosten.

2.9 Volledige implementatie

Het is goed om zich te realiseren dat alle voorgaande stappen een zekere doorlooptijd hebben en dat het meerdere jaren zal duren om tot volledige acceptatie te komen. Uiteindelijk kan de aanpak worden geïmplementeerd in alle voorzieningsgebieden. Gezien de omvang van het distributienet en alle benodigde aanpassingen zal het vele jaren duren voordat de beoogde eindsituatie een feit is. Gedurende dit traject zullen er waarschijnlijk diverse technische innovaties plaatsvinden, zowel in de *E. coli*-sensoren als in de benodigde ICT-infrastructuur. Dergelijke innovaties moeten dus worden meegenomen in het traject en de technologie moet voldoende flexibel zijn om deze veranderingen op te nemen.

2.10 Samenwerking en commitment

Het geschetste traject is gericht op implementatie bij één bedrijf, omdat de motivatie en acceptatie binnen het bedrijf belangrijk is voor succesvolle implementatie. Er valt echter veel meerwaarde en efficiëntie te halen uit samenwerking en kennisuitwisseling tussen de bedrijven. Technologieleveranciers benaderen bijvoorbeeld individuele bedrijven, die soms kleine pilots uitvoeren. Kennis over en ervaring met verschillende technologieën blijft daardoor mogelijk versnipperd. Kennisuitwisseling en samenwerking kunnen zorgen voor een sneller en efficiënter implementatietraject. Dit kan bijvoorbeeld plaatsvinden via gezamenlijke bedrijfsonderzoeken in het BTO, via een platformgroep of in een nieuw samenwerkingsverband. De voorlopers kunnen hun ervaringen delen met de volgers die daardoor efficiënter en sneller kunnen implementeren. Samenwerking met technologieleveranciers kan via TKI of andere (H2020) subsidieprojecten. Ook het gezamenlijk ontwikkelen van een visie zou een snellere implementatie mogelijk kunnen maken.

3 Eindsituatie na implementatie

3.1 Inleiding en huidige situatie

Dit hoofdstuk geeft een voorbeeld van een beoogde eindsituatie na implementatie van sensoren, waarbij verondersteld wordt dat de techniek van de *E. coli*-sensor goed werkt, en dat de technische specificaties goed bekend zijn. Dat wil zeggen dat we niet uitgaan van onfeilbare *E. coli*-sensoren, maar dat een drinkwaterbedrijf weet wat de detectiegrens is, wat de kans op vals-positieven en vals-negatieven is, en daarmee kan inschatten hoeveel *E. coli*-sensoren in een netwerk nodig zijn, en hoeveel positieven metingen nodig zijn voordat overgegaan wordt tot actie.

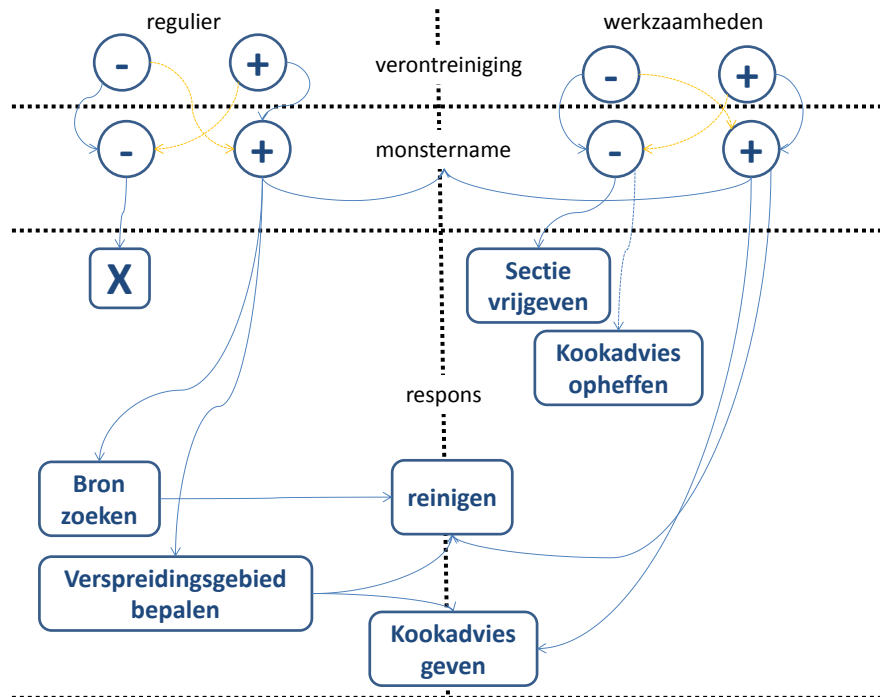
De huidige monstername is een willekeurige steekproef om aan te tonen dat processen op orde zijn. De kans op detectie als er een verontreiniging is, is heel laag (gemiddeld ca. 5% (Blokker en Vogelaar 2009; van Vossen-Van Den Berg et al. 2015)). De huidige monstername is niet geschikt om het infectierisico te verlagen, doordat een verontreiniging niet of pas veel later wordt vastgesteld en kookadvies pas laat kan worden afgegeven. Het voorbeeldincident van de oefening (Blokker en Mesman 2017) zou bijvoorbeeld met reguliere monstername pas enkele dagen later zijn opgemerkt en een kookadvies zou worden afgegeven wanneer vrijwel iedereen in het voorzieningsgebied al enkele dagen aan de verontreiniging was blootgesteld. In Nederland worden soms grote of kleine verontreinigingsincidenten gedetecteerd door de reguliere monstername, wat aangeeft dat dit een reëel scenario is.

De huidige situatie is geschetst in Figuur 3-1. Wanneer er onder reguliere omstandigheden geen verontreiniging optreedt ('-' linksboven) dan zal over het algemeen de monsteruitslag ook negatief ('-') zijn. Een positieve uitslag ('+', aangegeven met de oranje stippellijn) is in dit geval een vals-positief; dit kan optreden door een vervuild monster, of door een fout in de labanalyse. Wanneer er onder reguliere omstandigheden wel een verontreiniging optreedt ('+' linksboven) dan zal niet altijd de monsteruitslag ook positief ('+') zijn. Een negatieve uitslag ('-', aangegeven met de oranje stippellijn) is in dit geval een vals-negatief; dit kan optreden doordat de concentratie van de verontreiniging lager is dan de detectiegrens en het monster juist geen fecale indicator bevatte (op te lossen door bijv. een groter volume te bemonsteren), of doordat een monster genomen is nadat de verontreiniging al gepasseerd is of de monsterlocatie nog niet gepasseerd heeft (op te lossen door op een andere locatie of ander tijdstip te bemonsteren) of door een fout in de labanalyse. De kans op een vals-negatief onder reguliere omstandigheden als gevolg van de locatie en tijdstip van monstername is ca. 95% (Blokker en Vogelaar 2009; van Vossen-Van Den Berg et al. 2015).

Een vergelijkbare analyse kan worden gemaakt voor verontreiniging en monstername na werkzaamheden, aan de rechterkant van de figuur. De kans op een vals-negatief na werkzaamheden als gevolg van de locatie en tijdstip van monstername (12-24 uur na einde werkzaamheden) is ca. 75% (Blokker et al. 2016).

Bij een negatieve monsteruitslag (voor eerste of herhaalmonsters) wordt onder reguliere omstandigheden geen actie ondernomen, en na werkzaamheden betekent het dat de sectie waar aan gewerkt is, kan worden vrijgegeven en een eventueel kookadvies kan worden opgeheven. Een positief monster leidt wel tot actie; de inwoners krijgen een kookadvies, er wordt een (of meer) herhaalmonster(s) genomen, het verspreidingsgebied wordt ingeschat en de bron wordt opgespoord, het leidingnet wordt gereinigd. De tijd tussen het optreden

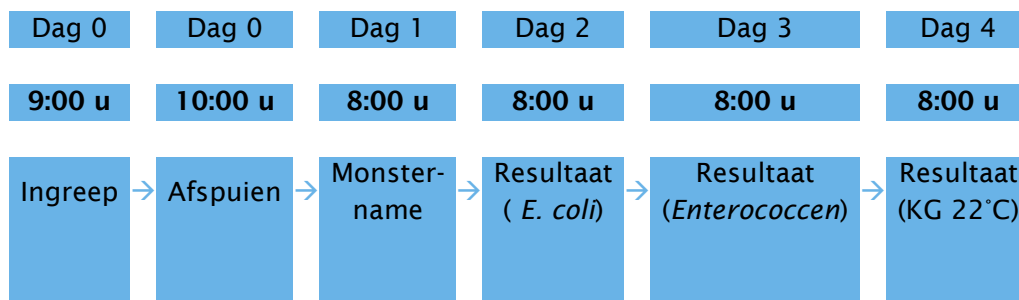
van de verontreiniging en de tijd tot het einde van het incident duurt typisch enkele dagen (mits het incident is gedetecteerd) doordat de uitslag van het lab enkele dagen op zich laat wachten en daarna pas herhaalmonsters genomen kunnen worden om bijv. de bron op te sporen; terwijl tegelijkertijd gewerkt wordt aan het verwijderen van de verontreiniging.



FIGUUR 3-1. MONSTERNAME EN RESPONS BIJ NEGATIEF (-) OF POSITIEF (+) RESULTAAT VOOR *E. COLI* IN DE HUIDIGE SITUATIE.

Het doel van de huidige waterkwaliteitscontrole na werkzaamheden is vast te stellen of er hygiënisch gewerkt is. Wanneer dit niet zo blijkt te zijn, wordt een kookadvies afgegeven. De tijd die tussen einde werkzaamheden en afgifte kookadvies zit is lang, en de bijdrage van het kookadvies aan het verlagen van het infectierisico is daardoor zeer beperkt. Omdat slechts zelden de noodzaak tot afgifte van een kookadvies optreedt, en het afgeven van een kookadvies als ongewenst wordt beschouwd (zeker als het onnodig is) doordat het lang kan duren voordat mensen weer bericht krijgen dat het water veilig is voor consumptie, wordt dit risico geaccepteerd en wordt er geen preventief kookadvies gegeven.

Volgens het huidige protocol in de hygiëncode (na een ingreep wordt 12 - 24 uur na het afspuien, een watermonster genomen), en de huidige analysetijd (die voor bacteriën wordt bepaald door de kweektijd), komen de resultaten beschikbaar volgens onderstaand schema. Pas 3 dagen na ingreep is het bekend of een fecale besmetting (*E. coli* en *Enterococce*n) is opgetreden. Door eerder te meten (bijv. 2 uur na afspuien) of niet met de kweekmethode, maar met RT-PCR te meten kan de tijd worden verkort tot respectievelijk 2 dagen en 1 dag (Blokker et al. 2017). Daarbij wordt opgemerkt dat de RT-PCR methode voor *E. coli* beschikbaar is en voor enterococce(n) in ontwikkeling. Voor koloniegetal wordt geen moleculaire methode ontwikkeld. In de praktijk worden de resultaten daarvan ook niet afgewacht.



3.2 Reguliere waterkwaliteitscontrole met *E. coli*-sensoren

De inzet van *E. coli*-sensoren maaken het mogelijk om het infectierisico (zo laag als dat nu ook al is) verder te verlagen. Door het aantal *E. coli*-sensoren en de *E. coli*-sensorlocaties slim te kiezen kan vorm worden gegeven aan risicogestuurde monitoring op fecale verontreinigingen van het distributienet.

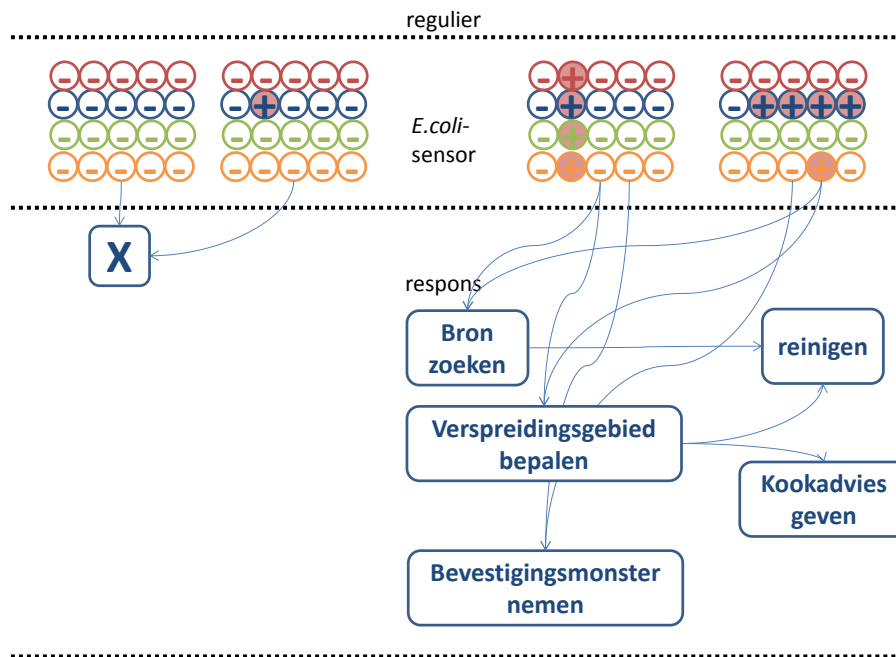
Figuur 3-2 laat het plaatje zien van wat er gebeurt wanneer *E. coli*-sensoren worden ingezet in plaats van het reguliere monsternameprogramma.

Wanneer er onder reguliere omstandigheden geen verontreiniging optreedt ('-') dan zal over het algemeen de monsteruitslag ook negatief ('-') zijn. Een positieve uitslag ('+') is in dit geval een vals-positief; dit kan optreden door een vervuild monster, of door een fout in de analyse. De kans op een vervuild monster is veel kleiner dan bij monstername (doordat de invloed van de drinkwaterinstallatie en de monsternemer zijn geëlimineerd). De kans op een vals-positieve analyse is niet precies bekend, maar wanneer deze voldoende klein is kan worden besloten om pas tot actie over te gaan wanneer tenminste twee positieve signalen van de *E. coli*-sensoren (van dezelfde *E. coli*-sensor, of een andere in de buurt) binnen een bepaalde tijd worden gemeten.

Wanneer er onder reguliere omstandigheden wel een verontreiniging optreedt ('+') dan zal niet altijd de monsteruitslag ook positief ('+') zijn. Een negatieve uitslag ('-') is in dit geval een vals-negatief; dit kan optreden doordat de concentratie van de verontreiniging lager is dan de detectiegrens en het monster juist geen fecale indicator bevatte, of doordat een monster genomen is nadat de verontreiniging al gepasseerd is of de monsterlocatie nog niet gepasseerd heeft of door een fout in de labanalyse. De kans op een vals-negatief onder reguliere omstandigheden als gevolg van detectiegrens kan worden verkleind door ofwel een groter volume te bemonsteren of met een gevoeligere methodiek te meten. De kans als gevolg van de locatie en tijdstip van monstername kan worden beperkt door de locatie van de *E. coli*-sensoren te optimaliseren op detectiekans (van Thienen 2014) en door enkele malen per dag te meten. Daarmee wordt de kans op non-detectie verkleind naar 20% (Blokker en Vogelaar 2009; van Vossen-Van Den Berg et al. 2015). Wederom zal de kans op een vals-negatief in de analyse kunnen worden beperkt doordat actie wordt verbonden aan meer dan slecht een enkele positieve meting.

Bij een negatieve *E. coli*-sensoruitslag of maximaal één positieve *E. coli*-sensoruitslag wordt onder reguliere omstandigheden geen actie ondernomen. Een aantal positieve *E. coli*-sensoruitslagen leidt wel tot actie; de inwoners krijgen een kookadvies, indien wenselijk wordt een (bevestigings)monster genomen, een herhaling van de *E. coli*-sensormeting vindt automatisch plaats, het verspreidingsgebied wordt ingeschat en de bron wordt opgespoord, het leidingnet wordt gereinigd. De tijd tussen het optreden van de verontreiniging en de tijd tot het einde van het incident duurt typisch enkele uren (mits het incident is gedetecteerd) doordat de uitslag van de *E. coli*-sensor snel bekend is en ook snel gehandeld kan worden. Doordat het *E. coli*-sensornetwerk continu informatie geeft, en een negatieve uitslag ook

informatie geeft, is het gemakkelijker om de bron op te sporen en zullen acties om het net te reinigen geen negatieve impact hebben op de bronopsporing.



FIGUUR 3-2. *E. COLI*-SENSOREN EN RESPONS BIJ ALLE *E. COLI*-SENSOREN NEGATIEF (-), EEN ENKEL POSITIEF SIGNAAL (+), MEERDERE *E. COLI*-SENSOREN EEN ENKEL POSITIEF SIGNAAL, OF EEN LANGER AANHOUDEND POSITIEF SIGNAAL OP TEN MINSTE EEN SENSOR, BIJ TOEPASSING VAN BACTCONTROL IN REGULIERE OMSTANDIGHEDEN (VERTIKAAL EEN VIERTAL SENSOREN, HORIZONTAAL MEETRESULTATEN IN DE TIJD), .

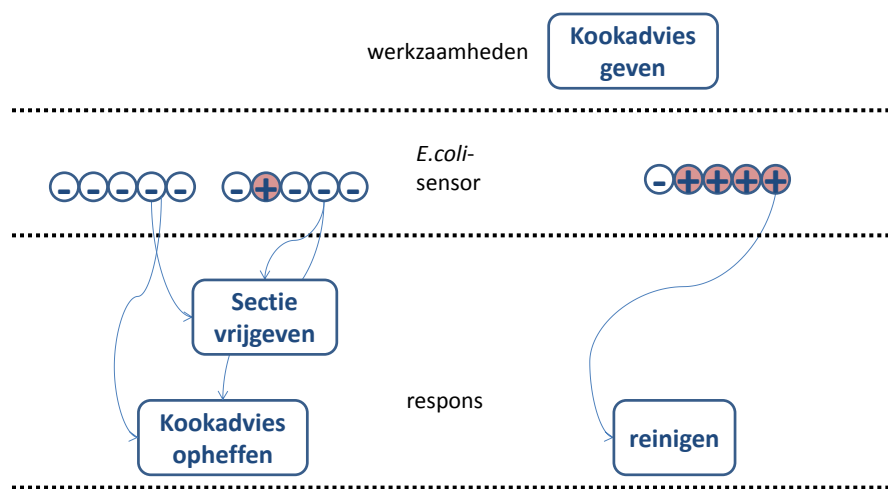
3.3 Waterkwaliteitscontrole na werkzaamheden met *E. coli*-sensor

Monitoring na werkzaamheden met *E. coli*-sensoren zou sneller uitsluitel kunnen geven of er hygiënisch gewerkt is. Dit betekent dat een waterbedrijf eerder een kookadvies kan afgeven, en dit kookadvies daarmee effectiever is in het verlagen van het infectierisico. Ook kan een waterbedrijf besluiten om een preventief kookadvies te geven, omdat sneller bericht kan worden dat het water veilig is voor consumptie. Een kortdurend kookadvies is acceptabeler dan een langdurend kookadvies. Monitoring na werkzaamheden met *E. coli*-sensoren zou dus een andere risico-afweging kunnen opleveren. Daarmee kan een waterbedrijf ook na werkzaamheden een risicogestuurde meetstrategie kunnen inrichten.

Figuur 3-3 laat het plaatje zien van wat er gebeurt wanneer *E. coli*-sensoren worden ingezet in plaats van het monsternamen na werkzaamheden.

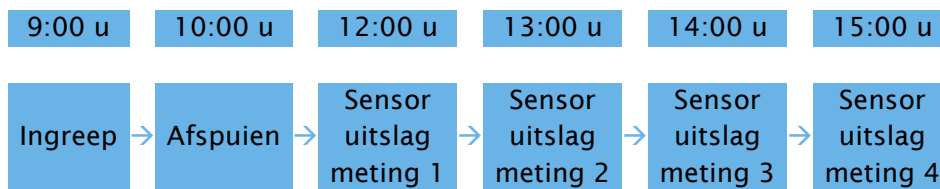
Wanneer er na werkzaamheden geen verontreiniging optreedt ('-') dan zal over het algemeen de monsteruitslag ook negatief ('-') zijn. Een positieve uitslag ('+') is in dit geval een vals-positief; dit kan optreden door een vervuild monster, of door een fout in de analyse. De kans op een vervuild monster is veel kleiner dan bij monsternamen (doordat de invloed van de drinkwaterinstallatie en de monsternemer zijn geëlimineerd). De kans op een vals-positieve analyse is niet precies bekend, maar wanneer deze voldoende klein is kan worden besloten om pas tot actie over te gaan wanneer tenminste twee positieve signalen van de *E. coli*-sensoren (er wordt typisch één *E. coli*-sensor ingezet bij werkzaamheden) na elkaar worden gemeten; vergelijkbaar met het wachten op een herhaalmonster.

Wanneer er na werkzaamheden wel een verontreiniging optreedt ('+') dan zal niet altijd de monsteruitslag ook positief ('+') zijn. Een negatieve uitslag ('-') is in dit geval een vals-negatief; dit kan optreden doordat de concentratie van de verontreiniging lager is dan de detectiegrens en het monster juist geen fecale indicator bevatte, of doordat een monster genomen is nadat de verontreiniging al gepasseerd is of de monsterlocatie nog niet gepasseerd heeft of door een fout in de labanalyse. De kans op een vals-negatief na werkzaamheden als gevolg van detectiegrens kan worden verkleind door ofwel een groter volume te bemonsteren of met een gevoeliger methodiek te meten. De kans als gevolg van de locatie en tijdstip van monsternamen kan worden beperkt door de locatie van de *E. coli*-sensor slim te kiezen (niet bovenstrooms van de werkzaamheden). Daarmee wordt de kans op non-detectie verkleind naar 20% (Blokker et al. 2016). Wederom zal de kans op een vals-negatief in de analyse kunnen worden beperkt doordat actie wordt verbonden aan meer dan slecht een enkele positieve meting.



FIGUUR 3-3. *E. COLI*-SENSOREN EN RESPONS BIJ ALLE SIGNALLEN NEGATIEF (-), EEN ENKEL POSITIEF SIGNAAL (+), OF EEN LANGER AANHOUDEND POSITIEF SIGNAAL, BIJ TOEPASSING VAN BACTCONTROL NA WERKZAAMHEDEN.

Door met een *E. coli*-sensor te meten na werkzaamheden kan de tijd totdat bekend is of een fecale besmetting (*E. coli*) is opgetreden worden verkort tot enkele uren, volgens onderstaand schema. Bij twee negatieve monsters zou om 13:00 u de sectie kunnen worden vrijgegeven.



4 Experimenteren in het lab

4.1 Doelstelling van laboratorium-experimenten

Binnen het huidige project zijn de prestatiekenmerken van één *E. coli* sensor in het laboratorium bepaald voor drinkwater in het algemeen (BTO 2017.039). Voor drinkwaterbedrijven kunnen verschillende doelen een rol spelen bij het experimenteren met een, voor het drinkwaterbedrijf, nieuwe techniek:

- Praktische ervaring op doen: welke handelingen zijn nodig, in welke vorm krijg ik resultaat, hoe kan ik dat interpreteren en hoe verhoudt zich dat tot de standaard methode?
- Toepasbaarheid op eigen watertypen: wordt de meting verstoord, raakt de apparatuur verontreinigd?
- Prestatiekenmerken vaststellen: conform ISO standaarden uitvoerig testen
- Gecontroleerd praktijksituaties nabootsen: blijft het systeem werken op langere termijn, treden storingen op of valse alarmen, wordt een verontreiniging werkelijk gedetecteerd?
- Bovenstaande activiteiten leiden tot vertrouwen (of wantrouwen) in het geteste systeem

Deze doelstellingen vragen om verschillende opzetten van de experimenten. Het is daarbij belangrijk vooraf te bepalen welke vragen men wil beantwoorden. Het gezamenlijk doen van experimenten met andere bedrijven, bijvoorbeeld in BTO of TKI verband kan leiden tot meer efficiëntie en bundeling van kennis. Maar bedrijven kunnen zich ook individueel richten op bepaalde sensoren of aspecten.

4.2 Ervaring uit testen BACTcontrol

In dit project zijn laboratoriumexperimenten uitgevoerd om de prestatiekenmerken van de BACTcontrol te bepalen (BTO 2017.039). Daarbij zijn lessen geleerd die ook voor het testen van andere *E. coli* sensoren relevant kunnen zijn en daarom hier worden samengevat.

ISO 16140-2:2016 is als leidraad genomen voor het opzetten van het protocol. Door uit te gaan van deze norm kan de kwaliteit van een experiment worden geborgd, en kunnen resultaten met andere onderzoeken makkelijker worden vergeleken.

Gekweekte organismen zijn ideaal om reproduceerbaar verontreinigingen na te bootsten. Bij de BACTcontrol bleek echter dat deze nauwelijks worden gedetecteerd, terwijl natuurlijke organismen wel worden gedetecteerd. Daarom is een protocol ontwikkeld uitgaande van natuurlijke organismen, dat ook voor nieuwe experimenten kan worden gevolgd. Bij grootschalige testen die eventueel door meerdere laboratoria worden uitgevoerd, kan het echter waardevol zijn om tijd te steken in het ontwikkelen van een goede, gestandaardiseerde, positieve controle (b.v. gekweekte bacteriën). Daarnaast is het vrij eenvoudig om in de toekomst aanvullende experimenten te doen, wat niet mogelijk is als natuurlijke organismen worden gebruikt. Aangezien sensoren veelal andere detectiemethoden zullen gebruiken dan de traditionele laboratoriumanalyses, moet steeds worden bedacht hoe een verontreiniging na te bootsen en blijkt dat het misschien niet altijd mogelijk is om een positieve controle op te zetten. Leidend moet zijn dat fecale

verontreiniging wordt gedetecteerd, en dat dit mogelijk tot resultaten leidt die afwijken van traditionele methoden.

De watermatrix veroorzaakte bij de BACTcontrol in minder of meerdere mate verstoring in de vorm van een achtergrond signaal. Het is daarom belangrijk met verschillende watertypen te testen en te verifiëren dat de methode onder alle condities betrouwbaar is. Factoren die kunnen meespelen zijn de drinkwaterbron (b.v. oppervlaktewater versus grondwater), de behandeling van het water, veranderingen tijdens opslag en transport of seizoensinvloeden.

Bij het uitvoeren van de testen is het goed om ook meerdere apparaten van één meetsysteem onderling te vergelijken. In voorgaande testen kwamen de resultaten van verschillende apparaten niet altijd even goed overeen. Verdere ontwikkeling van de technologie zal hiervoor mogelijk een oplossing voor bieden. Onder andere om vertrouwen in de nieuwe technologie te krijgen is het aan te raden een dergelijke vergelijking te maken.

De BACTcontrol bleek bij hoge aantallen bacteriën (ordegrootte 1000 kve/100ml) een betrouwbaar signaal te geven, maar bij lage aantallen (1-50 kve/100ml) niet altijd. Bij de beoogde toepassing in drinkwater zijn juist die lage aantallen belangrijk, omdat het water wordt getoetst aan de norm van afwezigheid van één bacterie in 100 ml. Op dit moment lijkt deze benodigde gevoeligheid het grootste struikelblok voor de beschikbare sensoren. Hierbij wordt opgemerkt dat de wettelijke grenswaarde van één per 100 ml gebaseerd is op de praktische uitvoerbaarheid van kweekmethoden en niet op een risicoafweging.

Voor details over hoe bovenstaande aspecten zijn aangepakt in het BACTcontrol onderzoek wordt verwezen naar het rapport *BTO 2017.039 Prestatiekenmerken van de E. coli bepaling met de BACTcontrol*.

5 Grootschalige pilot in de praktijk

5.1 Overwegingen bij een pilot

Het is belangrijk om het doel van een pilot vast te stellen, zodat de pilot zo optimaal ingericht kan worden om antwoord te geven op de vragen die leven. Voordat een waterbedrijf overgaat tot grootschalige implementatie van *E. coli*-sensoren voor automatische snelle detectie van een fecale verontreiniging in het distributienet, in het vervolg kortweg *E. coli*-sensoren genoemd, moet een aantal vragen worden beantwoord in een pilot:

1. Hoe richt je een *E. coli*-sensornetwerk in?
 - a. Wat is het doel van een *E. coli*-sensornetwerk? Bijvoorbeeld zo groot mogelijke detectiekans of zo veel mogelijk mensen beschermen.
 - b. Welke *E. coli*-sensor kies je?
 - c. Hoeveel *E. coli*-sensoren zijn nodig?
 - d. Waar plaats je *E. coli*-sensoren?
 - e. Hoe bed je de resultaten van de *E. coli*-sensormetingen in in de organisatie?
2. Hoe scoort het *E. coli*-sensornetwerk ten opzichte van de referentie?
 - a. Wat is de referentiesituatie?
 - b. Wat zijn de baten en kosten van de referentiesituatie?
3. Wat zijn de baten van een *E. coli*-sensornetwerk?
 - a. Hoe kunnen de baten worden gekwantificeerd? Te denken valt aan effect op waterkwaliteit, volksgezondheid, imago.
 - b. Hoe kunnen verschillende baten ten opzichte van elkaar (en van de kosten) worden gewogen?
4. Wat zijn de kosten van een *E. coli*-sensornetwerk?
 - a. Wat kosten de *E. coli*-sensoren, qua aanschaf, inbouwen en onderhoud?
 - b. Wat kost het om de signalen van de *E. coli*-sensoren te verwerken, qua ICT en organisatie?

Voor het inrichten van een pilot is het belangrijk dat ingeschat wordt hoe groot de pilot moet zijn om bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden: hoe groot moet het pilotgebied zijn en hoe lang moet de pilot duren? Vervolgens rijst de vraag wat er nodig is om van pilot naar volledige implementatie te komen.

5.2 Pilot reguliere monsternamen

Op basis van onderzoek 2014-2017 kan voor werkzaamheden de vragenlijst worden ingevuld.

Om vast te stellen of baten in de situatie met *E. coli*-sensoren groter zijn dan in de referentiesituatie is het nodig dat af en toe een *E. coli* wordt gemeten of gemeten zou kunnen worden. Daarmee wordt bedoeld dat er zoveel sensoren worden geplaatst dat met een gegeven meetnauwkeurigheid (bijvoorbeeld 10 per 100 ml) en gegeven aantal metingen per dag (bijvoorbeeld 4) het mogelijk is dat in de pilotperiode (bijvoorbeeld een jaar) 1 detectie mogelijk is. Wanneer van tevoren duidelijk is dat bij het gegeven aantal sensoren, de gegeven meetnauwkeurigheid en gegeven aantal metingen per dag nooit een realistisch besmettingsscenario zou kunnen worden gevonden, is de pilot niet veel meer waard dan de "kleinschalige pilot met een enkele sensor".

Het aantal metingen (aantal sensoren × aantal metingen per dag) kan als volgt worden bepaald:

- Wanneer voor de monstername 5 positieve monsters gewenst zijn en 0,1% is positief, betekent dat 5.000 monsters nodig zijn. Er worden aan de tap in een voorzieningsgebied van 2000 m³/dag 26 monsters per jaar genomen. Te berekenen valt dat 5.000 monsters per jaar worden genomen in een gebied dat 1,3 miljoen huishoudens van drinkwater voorziet (125 liter per persoon per dag, 2,3 personen per huishouden). Door de pilot langer te laten lopen, of te accepteren dat de monstername geen of minder dan 5 positieve monsters oplevert kan het pilotgebied worden verkleind.
- Wanneer voor de *E. coli*-sensoren 100% detectiekans wordt aangenomen in plaats van 5% bij de huidige monstername, dan wordt 20X vaker een positief monster verwacht. Dan zou kunnen worden volstaan met 250 metingen om 5 positieve resultaten te krijgen. Echter, het netwerk van *E. coli*-sensoren heeft door de beperking van het aantal meetlocaties een detectiekans van ca. 70%. Doordat de gevoeligheid van de *E. coli*-sensor minder goed is dan de kweekmethode (bijv. 10 per 100 ml) is de detectiekans ook lager. Er zijn daarom toch meer monsters nodig. Wanneer we bijvoorbeeld uitgaan van 7000 metingen per jaar, kan dat worden vertaald naar ca. 20 metingen per dag. Wanneer verondersteld wordt dat aaneengesloten positieve metingen op één locatie bij elkaar horen, zijn 20 *E. coli*-sensorlocaties vereist.
- N.B. in bovenstaande berekeningen is of de 0,1% geen vals-positieven bevat, bijvoorbeeld door de invloed van de monsternemer. Ook is niet bekend hoeveel vals-positieven een *E. coli*-sensor heeft. Het aantal vals-positieven van een *E. coli*-sensor kan wel naar beneden worden gebracht door tenminste twee opeenvolgende positieve metingen te verlangen voordat tot actie wordt overgegaan.
- De detectiekans hangt af van het aantal sensoren en de locatie van die sensoren in het leidingnet. Een en ander hangt sterk af van de leidingnetconfiguratie, en of rekening kan worden gehouden met kennis over locaties van besmettingsbronnen. van Summeren (2016) heeft laten zien dat een sensordichtheid groter dan ca. 0.001 per aansluiting (ca. 1 op 1000 woningen) weinig extra pakkans biedt. Een gebied met 20 *E. coli*-sensoren komt dan overeen met een voorzieningsgebied voor ca. 20.000 huishoudens. Voor het VIP (Vitens Innovation Playground) gebied NW-Friesland van zo'n 200.000 huishoudens zijn eerder 10-20 *E. coli*-sensorlocaties bepaald.

In onderstaande tabel is schematisch weergegeven welke vragen in deze fase moeten worden gesteld en hoe deze kunnen worden beantwoord.

Vraag	Antwoord
1 Hoe richt je een <i>E. coli</i> -sensornetwerk in?	
a Wat is het doel van een <i>E. coli</i> -sensornetwerk? Bijvoorbeeld zo groot mogelijke detectiekans of zo veel mogelijk mensen beschermen.	Het doel van een <i>E. coli</i> -sensornetwerk is een zo groot mogelijke beperking van het infectierisico. Dit lijkt te kunnen worden bereikt door de <i>E. coli</i> -sensorlocaties zodanig te kiezen dat de detectiekans zo groot mogelijk is. Het doel van de pilot kan zijn dat bepaald wordt hoe groot het verschil is tussen monitoring met <i>E. coli</i> -sensoren en met monsternamen. In dat geval is berekening van het infectierisico lastig, en is het makkelijker om de detectiefrequentie van beide methoden met elkaar te vergelijken. In dat geval is het optimaliseren van <i>E. coli</i> -sensorlocaties op een zo hoog mogelijke detectiekans aan te bevelen.
b Welke <i>E. coli</i> -sensor kies je?	Relevante vragen: <ul style="list-style-type: none"> - Gevoeligheid (Eq. van 1 <i>E. coli</i> per 100 ml, en andere karakteristieken uit de validatie) - Meetvolume (hoeveel water per dag) - Meetfrequentie (incl. logfrequentie en versturing naar centrale database) - Plaatsing (grootte, benodigde voorzieningen) - Investeringskosten en operationele kosten - Robuustheid Een aantal van de vragen wordt al in de kleinschalige pilot beantwoord.
c Hoeveel <i>E. coli</i> -sensoren zijn nodig?	20 (in genoemd voorbeeld)
d Waar plaats je <i>E. coli</i> -sensoren?	Aan bevelen wordt te optimaliseren op detectiekans. Hiervoor is een hulpmiddel ontwikkeld (van Thienen 2014). Bij de inzet van dit hulpmiddel kunnen ook heel goed praktische randvoorwaarden worden meegegeven die van belang zijn voor de <i>E. coli</i> -sensorlocaties, zoals de mogelijkheid voor stroomvoorziening en afvoer van het water dat gemeten wordt.
e Hoe bed je de resultaten van de <i>E. coli</i> -sensormetingen in de organisatie?	Belangrijk is dat de <i>E. coli</i> -sensormetingen een plek krijgen in de calamiteitenprocedure (Blokker en Mesman 2017). Daarbij is belangrijk om vast te stellen wanneer opgeschaald gaat worden; is dat reeds na één positieve meting, of wordt eerst gewacht op een bevestiging door monsternamen (eventueel analyse met RT PCR) of dezelfde of een andere <i>E. coli</i> -sensor. N.B. de keuzes tijdens de pilot kunnen anders zijn dan na (volledige) implementatie.
2 Hoe scoort het <i>E. coli</i> -sensornetwerk ten opzichte van de referentie?	
a Wat is de referentiesituatie?	Monsternamen volgens de (huidige) afspraak met inspectie.
b Wat zijn de baten en kosten van de referentiesituatie?	Zie (Blokker en Smeets 2017). De baten van huidige monsternamen zijn "voldoen aan de wet". De detectiekans is laag, maar in een gegeven situatie is onbekend hoe laag precies. Vergelijken op detectiekans is dus niet goed mogelijk.

	Om monitoring met <i>E. coli</i> -sensoren te vergelijken met monitoring met monsternamen kunnen de paar specifieke situaties worden uitgelicht waarin de <i>E. coli</i> -sensor een detectie doet. Die situaties kunnen (kwalitatief) worden beoordeeld op kosten, aantal "getroffen" adressen, duur van het "incident", etc. (Blokker en Mesman 2017).
3	Wat zijn de baten van een <i>E. coli</i>-sensornetwerk?
a	Hoe kunnen de baten worden gekwantificeerd? Te denken valt aan effect op waterkwaliteit, volksgezondheid, imago. Zie (Blokker en Smeets 2017)
b	Hoe kunnen verschillende baten ten opzichte van elkaar (en van de kosten) worden gewogen?
4	Wat zijn de kosten van een <i>E. coli</i>-sensornetwerk?
a	Wat kosten de <i>E. coli</i> -sensoren, qua aanschaf, inbouwen en onderhoud? Zie (Blokker en Smeets 2017)
b	Wat kost het om de signalen van de <i>E. coli</i> -sensoren te verwerken, qua ICT en organisatie? Dit moet uit de praktijk verder blijken.
5	Hoe groot moet de pilot zijn?
a	Grootte van het gebied 200.000 huishoudens (voor 1 jaar; wanneer de pilot langer loopt kan een kleiner gebied worden geselecteerd).
b	Duur van de pilot 1 jaar
6	Opschalen naar volledige implementatie
a	Wat is nodig?

5.3 Pilot monsternamen na werkzaamheden

Op basis van onderzoek 2014-2017 kan voor werkzaamheden de vragenlijst worden ingevuld.

Om vast te stellen of baten in de situatie met *E. coli*-sensoren groter zijn dan in de referentiesituatie is het nodig dat af en toe een *E. coli* wordt gemeten, omdat dat in de huidige praktijk ook het geval is. Het aantal metingen kan als volgt worden bepaald:

- In de huidige situatie met 25% detectiekans blijkt 0,5% van de monsters positief. Verontreiniging treedt dus waarschijnlijk in circa 2% van de gevallen op. Bij 100% kans zou met 250 monsters volstaan kunnen worden om 5 positieve monsters te krijgen. Met *E. coli*-sensoren is er 80% kans op detectie, en dus zijn dan 312 monsters nodig voor 5 positieven. Afgerond is dat 320.
- N.B. Onbekend is of de 0,5% geen vals-positieven bevat, bijvoorbeeld door de invloed van de monsternemer. Ook is niet bekend hoeveel vals-positieven een *E. coli*-sensor kan geven. Het aantal vals-positieven van een *E. coli*-sensor kan wel naar beneden worden gebracht door tenminste twee opeenvolgende positieve metingen te verlangen voordat tot actie wordt overgegaan.

Vraag	Antwoord
1 Hoe richt je een <i>E. coli</i> -sensornetwerk in?	
a Wat is het doel van een <i>E. coli</i> -sensornetwerk? Bijvoorbeeld zo groot mogelijke detectiekans of zo veel mogelijk mensen beschermen.	Zo groot mogelijke detectiekans, omdat doel is kwaliteitscontrole van werkzaamheden
b Welke <i>E. coli</i> -sensor kies je?	De <i>E. coli</i> -sensor moet mobiel zijn, d.w.z. te vervoeren door een gekwalificeerde werknemer, snel te installeren, snel betrouwbare resultaten geven. De <i>E. coli</i> -sensor kan eventueel na enkele meetsessies voor onderhoud of kalibratie worden teruggebracht naar het lab. De <i>E. coli</i> -sensor moet automatisch monsters nemen (een per 4 uur lijkt redelijk, max. 1 liter per meting), ter plekke analyseren, met een hoge betrouwbaarheid (lage vals positief, lage vals negatief), en voldoende nauwkeurigheid of onderscheidend vermogen (namelijk equivalent van 1 <i>E. coli</i> per 100 ml). De <i>E. coli</i> -sensor moet meetdata direct aan een centrale database verzenden.
b Hoeveel <i>E. coli</i> -sensoren zijn nodig?	Eén <i>E. coli</i> -sensor per werk, in een vertakt systeem mogelijk meer.
c Waar plaats je <i>E. coli</i> -sensoren?	Benedenstrooms van de werkzaamheden.
d Hoe bed je de resultaten van de <i>E. coli</i> -sensormetingen in in de organisatie?	Sensoren worden geplaatst kort nadat het leidingdeel gespuid is. Eventueel kan standaard een kookadvies worden afgegeven. Het kookadvies wordt opgeheven nadat (bijvoorbeeld) tweemaal een negatieve meting heeft plaatsgevonden. Wanneer herhaaldelijk een positieve meting plaats heeft, moeten maatregelen worden genomen.
2 Hoe scoort het <i>E. coli</i> -sensornetwerk ten opzichte van de referentie?	
a Wat is de referentiesituatie?	Monstername volgens de hygiënecode, 12-24 u na einde werkzaamheden. Die monstername kan plaatsvinden op dezelfde meetlocaties als waar de <i>E. coli</i> -sensoren staan; op andere meetlocaties, maar wel bij dezelfde werkzaamheden, op meetlocaties bij werkzaamheden in een vergelijkbare regio, op meetlocaties bij werkzaamheden in dezelfde regio, maar een jaar eerder.
b Wat zijn de baten en kosten van de referentiesituatie?	Zie (Blokker en Smeets 2017)
3 Wat zijn de baten van een <i>E. coli</i> -sensornetwerk?	
a Hoe kunnen de baten worden gekwantificeerd? Te denken valt aan effect op waterkwaliteit, volksgezondheid, imago.	Zie (Blokker en Smeets 2017) Volksgezondheid: maximale bijdrage a.g.v. kookadvies. Imago: betere kwaliteitsbewaking, grotere kans op detectie, en daarmee snellere respons. Kosten: snellere respons kan ook kosten besparen.
b Hoe kunnen verschillende baten ten opzichte van elkaar (en van de kosten) worden gewogen?	Vertegenwoordigers van verschillende bedrijfsonderdelen kunnen aangeven welke kosten of baten worden verwacht. Aandachtspunt is dat kosten vaak niet op dezelfde plek vallen als de baten. Ook zijn niet alle baten financieel

4 Wat zijn de kosten van een <i>E. coli</i>-sensornetwerk?	
a Wat kosten de <i>E. coli</i> -sensoren, qua aanschaf, inbouwen en onderhoud?	Zie (Blokker en Smeets 2017)
b Wat kost het om de signalen van de <i>E. coli</i> -sensoren te verwerken, qua ICT en organisatie?	Dit moet uit de praktijk verder blijken.
5 Hoe groot moet de pilot zijn?	
a Grootte van het gebied	Een waterbedrijf zou de pilot in één regio kunnen doen. Belangrijk is dat in deze regio alle werkzaamheden in de pilot worden betrokken, of een selectie van werkzaamheden volgens een eenduidig criterium. Er moet geen sprake zijn van willekeur in het besluit of na een werk wel of niet de <i>E. coli</i> -sensor wordt ingezet.
b Duur van de pilot	320 werkzaamheden; de duur is afhankelijk van de grootte van het pilotgebied.
6 Opschalen naar volledige implementatie	
a Wat is nodig?	Sensor als alternatief voor monstername: acceptatie door ILT

6 Referenties

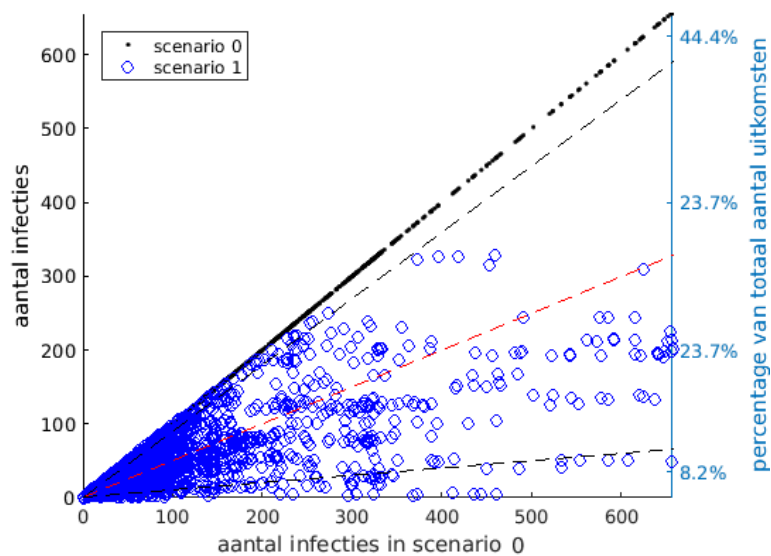
- Bartram, J. (2009). *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*, World Health Organization.
- Blokker, E. J. M. en Mesman, G. A. M. (2017). "Responsstrategie na meting E. coli door sensoren." *BTO 2017.080*, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., Moerman, A. en Smeets, P. W. M. H. (2016). "QMRA van het distributienet." *BTO 2016.017*, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M. en Smeets, P. W. M. H. (2017). "Toegevoegde waarde online E. coli sensor in het distributienet." *BTO 2017.014*, KWR, Nieuwegein
- Blokker, E. J. M. en van Laarhoven, K. (2017). "De reductie van het infectierisico met behulp van van on-line E.coli sensoren in het distributienet; op basis van het QMRA-model." *BTO 2017.013*, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M. en Vogelaar, A. J. (2009). *Optimalisatie meetprogramma E.coli in distributienet*, KWR, Nieuwegein. BTO 2009.008.
- Blokker, M., Smeets, P. en Fujita, Y. (2017). "Implementatieplan snel meten na werkzaamheden." *BTO 2017.021*, KWR, Nieuwegein.
- Hessels, L. en Bergsma, E. (2017). "Belemmeringen voor innovatie: verkenning van de drempels voor de implementatie van online E. coli sensoren in het leidingnet." *BTO 2017.086*, KWR, Nieuwegein.
- Hessels, L. en Schalkwijk, B. (2017). "BTO Evaluatie 2016." *BTO 2017.205(s)*, KWR, Nieuwegein.
- Meerkerk, M. A. (2016). "PCD 1-4 Hygienecode Drinkwater. Opslag, transport en distributie." *PCD 1-4 (2016)*, KWR, Nieuwegein
- van Bel, N. (2017). "Validatie van de E. coli bepaling met het on-line monitoringssysteem BACTcontrol." *BTO 2017.039*, KWR, Nieuwegein.
- van Summeren, J. (2016). "Investerings en rendementen van sensornetwerken ten behoeve van waterkwaliteitsbewaking - TKI INTEREST." *KWR 2016.052*, KWR, Nieuwegein.
- van Thienen, P. (2014). "Strategieën voor optimale plaatskeuze van waterkwaliteitssensoren in het distributienet." *BTO 2014.046*, KWR, Nieuwegein.
- van Vossen-Van Den Berg, J., Blokker, E. J. M. en De Graaf, B. (2015). "Evaluation of the ability of sensor networks to detect E.coli events compared to sampling programmes." *Procedia Engineering 13th Computing and Control for the Water Industry Conference, CCWI 2015*, 337-346.

Bijlage I Factsheet interviews

Introductie online *E. coli*-sensoren in het leidingnet

Drinkwaterbedrijven hanteren een goede kwaliteitsbewaking tijdens de productie van drinkwater, maar in het distributienet kan de drinkwaterkwaliteit worden bedreigd door een besmetting. Op dit moment wordt de waterkwaliteit in het distributienet bewaakt via handmatige monsternamen aan de kraan, waarbij steeds slechts een heel klein deel van het water wordt getest. Uit eerder onderzoek is gebleken dat met deze methode de kans op detectie van een fecale verontreiniging in het distributienet erg klein is. Snelle automatische detectie met online *E. coli*-sensoren lijkt een kansrijke innovatie om de kwaliteitsbewaking in het leidingnet te verhogen.

Met behulp van simulaties is eerder bepaald dat met de huidige monsters aan de kraan er slechts 5% kans is dat een grote verontreiniging wordt gedetecteerd. Uit een modelstudie is gebleken dat de kans op detectie van een fecale verontreiniging sterk kan worden verhoogd door strategische plaatsing van online *E. coli*-sensoren in het distributienet. Door vervolgens snel een kookadvies te geven, kan het infectierisico met gemiddeld 25% afnemen. In de studie is een kwantitatieve risicoanalyse gemaakt volgens het QMRA-model (quantitative microbial risk assessment). Hierbij is een aanname gedaan voor de specificaties van *E. coli*-sensoren, die zorgen voor automatische monsternamen en binnen 4 uur een uitslag geven over de aanwezigheid van *E. coli* in 100 ml water. Als basis werd een model van het distributienet in Zandvoort gebruikt. Uit de studie blijkt dat waterbedrijven bij deze automatische detectie van *E. coli* bacteriën in zowel een eerste als een herhalingsmonster voldoende tijd hebben consumenten te waarschuwen met een kookadvies voor consumptie. De detectiegrens van de online *E. coli*-sensoren leiden er echter wel toe dat besmettingen niet in alle gevallen zullen worden gedetecteerd. Bovendien zullen besmettingen korter duren dan de benodigde responstijd onopgemerkt voorbijgaan.



FIGUUR: AANTAL INFECTIES PER BESMETTINGSSCENARIO ZONDER *E. COLI*-SENSOREN (SCENARIO 0) OP DE HORIZONTALE AS VERSUS DIE IN *E. COLI*-SENSORSCENARIO 0 (GEEN *E. COLI*-SENSOREN) EN 1 (SENSOREN MET EEN MEETTIJD VAN 4 UUR, ÉÉN BEVESTIGING NODIG EN 1 UUR TIJD VOOR KOOKADVIES) OP DE VERTICALE AS. DE ZWARTE STIPPELLIJNEN GEVEN DE 10% (BOVENSTE) EN 90% (ONDERSTE) REDUCTIE WEER, DE RODE STIPPELLIJN DE 50% REDUCTIE. OP DE RECHTER Y-AS WORDT WEERGEGEVEN HOEVEEL VAN DE SCENARIO'S IN DEZE REDUCTIE VALLEN, BIJVOORBEELD 8.2% VAN DE SCENARIO'S HEEFT 90% REDUCTIE OF MEER.

Een kosten-batenanalyse waarin de snelle detectie met online *E. coli*-sensoren is vergeleken met het reguliere monsterprogramma heeft laten zien dat snelle detectie met online *E. coli*-sensoren (zoals de BACTcontrol) meer kosten met zich meebrengt, maar ook het veiligheidsniveau voor de klant verhoogt. Dit geldt bij het huidige aantal monsters, dat beperkt is vanwege de hoge kosten van handmatige monsternamen. De online metingen bieden echter de mogelijkheid om veel vaker te meten tegen lage meerkosten, waarmee het veiligheidsniveau verder kan worden verhoogd. Met handmatige monsternamen is dit onbetaalbaar.

In deze analyse zijn beide methoden ook vergeleken voor monsternamen na werkzaamheden. Snelle detectie met online *E. coli*-sensoren vergroot de zekerheid op hygiënisch werken, waardoor het beschermingsniveau van de klant stijgt. De verbeterde kwaliteitsbewaking kost nu nog meer dan het huidige monsterprogramma, maar is vele malen goedkoper dan wanneer je dit hogere kwaliteitsniveau met een monsterprogramma zou willen realiseren. Overige baten zijn o.a. minder overlast voor de klant omdat minder monsters nodig zijn en omdat kookadviezen korter kunnen gelden. Bovendien zijn er minder reiskilometers nodig voor de medewerkers van het waterbedrijf.

Naast de kosten en baten speelt ook de strategie voor de toekomst een rol bij het implementeren van automatische waterkwaliteitsbewaking in het distributienet. Veel processen bij de drinkwaterbedrijven zijn reeds geautomatiseerd en de bewaking van het drinkwaternet zou daar bij passen. Ook zijn drinkwaterbedrijven meer gericht op het informeren van de klant over bijvoorbeeld de actuele waterkwaliteit. Bovendien verwacht de klant dat drinkwaterbedrijven nieuwe technologieën en innovaties toepast om de best mogelijk drinkwaterkwaliteit te garanderen. De monsternamen aan de kraan is ooit ingevoerd vanuit de praktische haalbaarheid met de beschikbare methoden. Hieraan kleven echter ook nadelen, zoals de invloed van de drinkwaterinstallatie op de waterkwaliteit en het feit dat minder mensen overdag bereikbaar zijn. Nieuwe technologieën bieden nieuwe

mogelijkheden die leiden tot een heroverweging van de huidige aanpak. Bestaande wetgeving staat deze innovatie momenteel in de weg, maar met een onderbouwd advies vanuit de drinkwatersector kan de overheid de regels aanpassen.

Dit project richt zich daarom op de vraag waarom drinkwaterbedrijven deze technieken nog niet hebben ingezet, of men dat in de toekomst wel wil gaan doen en wat daarvoor dan nodig is. We willen daarbij rekening houden met alle aspecten die bij deze innovatie een rol spelen.