



BTO 2017.014 | Maart 2017

BTO rapport

Toegevoegde waarde
online *E. coli* sensor in
het distributienet

BTO

Toegevoegde waarde online *E. coli* sensor in het distributienet

BTO 2017.014 | Maart 2017

Opdrachtnummer

400554-154

Projectmanager

dr. L.M. (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

Verzonden aan

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie

dr. ir. E.J.M. Blokker
T 533
E mirjam.blokker@kwrwater.nl

Keywords

E.coli sensor, distributienet, QMRA

PO Box 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



Watercycle
Research
Institute

BTO 2017.014 | Maart 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden veeleelvoudigd, 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

Automatische, snelle detectie van fecale besmettingen positief voor hygiënische betrouwbaarheid en beschermingsniveau drinkwaterklant

Auteur(s) dr.ir. Mirjam Blokker, dr.ir. Patrick Smeets

Wanneer bij het opsporen van fecale verontreinigingen in het leidingnet in plaats van het reguliere monsterprogramma gebruik wordt gemaakt van automatische, snelle detectie met online *E. coli* sensoren (zoals de BACTcontrol), levert dit een grotere zekerheid van hygiënisch werken en stijgt het beschermingsniveau van de klant. Dit blijkt uit een kosten-batenanalyse waarin beide methoden met elkaar zijn vergeleken voor zowel de reguliere monsternamen als voor monsternamen na werkzaamheden. 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. Nu steeds meer producten op de markt komen waarmee automatisch, snel en vaak monsters kunnen worden genomen voor een snelle analyse van indicatoren van fecale verontreinigingen, draagt dit onderzoek bij aan het verkrijgen van inzicht in de mate waarin deze producten de kwaliteitsbewaking van het distributienet kunnen verbeteren.



Huidige monsternamen betekenen een monster aan de kraan en na minstens 24 uur kweek in het laboratorium een uitslag. Een online E.coli sensor kan binnen 4 uur een uitslag geven en binnen 8 uur de uitslag van het herhaalmonster.

Belang: kosten-batenanalyse voorafgaand aan toetsing online *E.coli* sensoren in de praktijk
Steeds meer producten komen op de markt waarmee automatisch, snel en vaak monsters kunnen worden genomen voor een snelle analyse van indicatoren van fecale verontreinigingen. Zonder de huidige kwaliteitsbewaking van het distributienet van de ene op de andere dag te vervangen, kunnen deze producten wel voor verbetering zorgen. Voordat de waarde van deze nieuwe ontwikkelingen in de praktijk wordt

getoetst, is een kosten-batenanalyse gemaakt. Dat maakt een afweging mogelijk tussen omstandigheden waaronder een toegevoegde waarde valt te verwachten en welke eisen daarbij horen voor het meetprincipe en de kosten van de meetinstrumenten. In eerste instantie ligt de focus op online *E.coli* sensoren (meer specifiek de BACTcontrol).

Aanpak: kwantificeren van kosten en baten van BACTcontrol versus huidige monstername

Voor een voorzieningsgebied zijn samen met het betreffende waterbedrijf getallen verzameld over de kosten van reguliere monstername en monstername na werkzaamheden. Daarnaast is een inschatting gemaakt van de huidige kosten van de BACTcontrol wanneer deze in hetzelfde gebied zou worden ingezet. Er zijn aannames gedaan voor de onderhoudsfrequentie en de afschrijvingstermijn van de investering. Daarnaast is met experts van waterbedrijven een responsstrategie en lijst van potentiële baten ten opzichte van de huidige monstername opgesteld. Een aantal van deze baten is met modelstudies gekwantificeerd.

Resultaten: verbeterde kwaliteitsbewaking en hoger beschermingsniveau met online E.coli sensoren

Door de inzet van sensoren zoals de BACTcontrol worden meer monsters genomen, met uitsluiting van de invloed van de monsternemer en de drinkwaterinstallatie. Dit leidt tot a) een grotere zekerheid van hygiënisch werken, en b) een hoger beschermingsniveau van de drinkwaterklant wanneer deze na detectie snel een kookadvies krijgt. Deze baten zijn ook gekwantificeerd: a) 60% detectiekans met sensoren versus minder dan 5% met huidige monsterprogramma, en b) een extra bescherming van 25% van de bevolking met de inzet van sensoren onder normale operationele omstandigheden tot 80% extra bescherming bij werkzaamheden. Ook zijn meer kwalitatief enkele operationele baten geïdentificeerd, zoals de mogelijkheid om de bron van de besmetting beter te kunnen lokaliseren, een robuuster net doordat minder tijd nodig is voor sectie-isolatie in afwachting van de E.coli-analyse, en een aantal positieve effecten op het imago vanwege minder overlast voor de klant, doordat een waterbedrijf beter zicht heeft op de waterkwaliteit in het net en gebruik maakt van moderne meetmiddelen. In de huidige situatie bedragen de kosten van de verbeterde kwaliteitsbewaking met BACTcontrol

iets meer dan het huidige monsterprogramma. Toch is dit vele malen goedkoper dan wanneer het hogere kwaliteitsniveau met een monsterprogramma zou moeten worden bereikt. Dit betekent dat het gebruik van meetmiddelen voor automatische snelle detectie van fecale verontreinigingen in het distributienet grote voordelen biedt ten opzichte van het huidige monsterprogramma. Hoewel de voordelen niet gratis zijn, gaat het bij een vervanging van het monsterprogramma door een set sensoren om beperkte meerkosten. Het naast elkaar laten bestaan van de wettelijk verplichte monstername en sensormetingen biedt dezelfde voordelen, maar de kosten zijn hoger.

Implementatie: doe een (virtuele) pilot met online E.coli sensoren in het leidingnet

Er lijken duidelijke voordelen te zitten aan de inzet van online E.coli sensoren. Onbekend is nog wel hoe goed deze sensoren in de praktijk werken, en daarom bestaat de aarzeling om ze al in het leidingnet in te zetten. Toch zal de echte meerwaarde van dit soort sensoren in de praktijk moeten blijken. Aanbevolen wordt te testen wat de inzet van online E.coli sensoren betekent voor de kosten (in de praktijk blijkt de echte onderhoudsfrequentie), de kwaliteitsbewaking (wat doe je als er een detectie plaatsvindt), de hoeveelheid positieve monsters en de consequenties daarvan naar de klant en de toezichthouder, de locatiekeuze van sensoren, etc. Een deel van zo'n pilot kan ook virtueel, waarbij met een "serious game" een scenario wordt nagespeeld van detectie van een besmetting in het net.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Toegevoegde waarde online E. coli sensor in het distributienet* (BTO-2017.014).

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en doel	4
1.2	Tools	5
1.3	Aanpak en leeswijzer	5
2	Risicomanagement fecale verontreiniging tijdens distributie	7
2.1	Kader risicomanagement	7
2.2	Doel vaststellen	7
2.3	Risico's identificeren	8
2.4	Risico inschatten	8
2.5	Risico beoordelen	9
2.6	Risico beheersen	9
2.7	Monitoring	10
3	Kosten van “automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie”	13
3.1	Inleiding en doel	13
3.2	Aanpak	13
3.3	Voorbeeld voorzieningsgebied	13
3.4	Kosten E. coli analyse met online monitor	16
3.5	Kosten online E. coli monitor na werkzaamheden	18
4	Respons na detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie	22
4.1	Inleiding	22
4.2	Huidige situatie met monsternamen	22
4.3	BACTcontrol in operationele omstandigheden	24
4.4	BACTcontrol bij werkzaamheden	26
5	Baten van “automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie”	28
5.1	Inleiding	28
5.2	Verbeteren van de waterkwaliteitsbewaking	28
5.3	Verbeteren van de kwantitatieve schatting van het infectierisico	28
5.4	Bijdrage BACTcontrol aan verlagen infectierisico onder operationele omstandigheden	36
5.5	Bijdrage BACTcontrol aan verlagen infectierisico na werkzaamheden	37
5.6	Samenvatting en discussie baten	37
6	Aanbevelingen fase 2: praktijkonderzoek	41
6.1	Inleiding	41
6.2	Samenvatting kosten-batenanalyse	41
6.3	Wettelijke kaders	42

6.4	Andere alternatieven voor de huidige <i>E. coli</i> monstername	42
6.5	Aanbevelingen	43
7	Referenties	44

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Er is een goede waterkwaliteitsbewaking van het geproduceerde drinkwater, maar die waterkwaliteit kan in het distributienet achteruit gaan. De waterkwaliteitsbewaking in het distributienet gebeurt nu met monsternamen waarbij slechts een heel klein deel van het water wordt bemonsterd. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de kans dat een fecale verontreiniging in het distributienet wordt gedetecteerd erg klein is. Methoden waarbij online semi-continue wordt gemonitord kunnen de detectiekans sterk verhogen. Daardoor kunnen deze nieuwe methoden bijdragen aan het vaststellen van de hygiënische betrouwbaarheid en het nog verder verlagen van het infectierisico wanneer tijdig maatregelen genomen kunnen worden. Mogelijk kunnen ze ook leiden tot meer inzicht in het daadwerkelijke infectierisico. Een en ander hangt af van de praktische toepasbaarheid van de meetsystemen, de kosten, de analyse van de resultaten en de respons op een gedetecteerde besmetting. De meerwaarde en de praktische uitvoerbaarheid van meetsystemen voor snelle, automatische, semi-continue detectie van fecale verontreinigingen in het distributienet is de kern van dit onderzoek.

De zuivering levert in principe drinkwater aan het distributienet dat voldoet aan de wettelijke grenswaarde van 1 infectie per 10.000 personen per jaar voor micro-organismen van fecale oorsprong. Tijdens distributie kan het infectierisico toenemen door besmettingen. Drinkwaterbedrijven streven ernaar dit risico te beperken zodat het water op het punt van levering (de watermeter) ook aantoonbaar aan de grenswaarde voldoet. Besmettingen kunnen optreden tijdens werkzaamheden, of tijdens reguliere omstandigheden die niet door het waterbedrijf gekend worden. Die laatste wordt in dit rapport “onder operationele omstandigheden” genoemd. Controle op de waterkwaliteit bij distributie vindt plaats door analyse op fecale indicatororganismen. In dit onderzoek ligt de nadruk op *E. coli*, en worden de andere fecale indicatororganismen waar relevant besproken. Conform het wettelijk meetprogramma wordt regulier de waterkwaliteit aan de tap (kraan) bij de consument regelmatig onderzocht. Na werkzaamheden vindt lokaal waterkwaliteitscontrole plaats voordat het werk wordt goedgekeurd en vrijgegeven als ‘veilig’. Deze aanpak is historisch ontwikkeld en heeft geleid tot een praktische aanpak waarmee ziekte-uitbraken niet hebben plaatsgevonden. Het biedt echter een beperkte basis voor het bepalen van het infectierisico, en daarmee voor het toetsen aan de grenswaarde.

Uit een modelmatige analyse van verontreinigingen van *E. coli* in het distributienet blijkt dat het huidige (wettelijke) monsterprogramma een hele lage detectiekans (ca. 3-5%) heeft; door de inzet van (semi)continue on-site meetsystemen van *E. coli* op optimale locaties in het distributienet kan de detectiekans significant worden verhoogd (tot 65%) (van Vossen-Van Den Berg et al. 2015). Verhoging van de detectiekans in combinatie met snelle detectie geeft de waterbedrijven de mogelijkheid om met een juiste respons de gezondheid van de drinkwaterconsument adequaat te beschermen. Doel van dit project is om te bepalen of de inzet van nieuwe meetsystemen voor fecale verontreiniging in de praktijk de gezondheidsbescherming kunnen verbeteren (i.e. het infectierisico kunnen verlagen) en of de meetsystemen geschikt zijn voor toepassing in de praktijk, waarbij ook aandacht is voor praktische zaken zoals onderhoudsbehoefte en gemak van installatie.

1.2 Tools

Er zijn meetsystemen beschikbaar die in de praktijk ingezet zouden kunnen worden voor (semi)continue, on-site/online detectie van een fecale verontreiniging of waterkwaliteitsgebeurtenis:

1. in eerder BTO onderzoek (Kardinaal et al. 2013) is de tap-sampler ontwikkeld en ingezet: een membraanfiltratie-unit die in 24 uur ca. 10 liter water bemonstert uit de leiding, wat daarna in het laboratorium geanalyseerd kan worden. Dit meetsysteem bemonstert wel continu gedurende 24 uur, maar de analyse is niet on-site maar in het lab en neemt (afhankelijk van de gebruikte methode) nog een aantal uren (qPCR) tot 18-24 uur (kweek) in;
2. de commerciële meetsystemen BACTcontrol en ColiMinder, waarmee drinkwaterleidingen on-site semicontinu worden bemonsterd en on-site wordt onderzocht op enzymactiviteit die voldoende specifiek lijkt te zijn voor E. coli/fecale verontreiniging.
3. generieke sensoren zoals Optiqua/Eventlab waarmee veranderingen in de waterkwaliteit kunnen worden gemeten, waaronder ook grote fecale verontreinigingen. Als deze generieke sensoren een signaal afgeven is een extra analyse nodig om te bepalen of het een fecale verontreiniging betreft (bij voorkeur met snelle analysetechnieken zoals qPCR). De gevoeligheid van deze generieke sensoren voor fecale verontreiniging is niet voldoende hoog in vergelijking met de labanalyses t.b.v. het wettelijk meetprogramma.

Op dit moment levert optie 2 de beste mogelijkheid voor een alternatieve meetstrategie voor de waterkwaliteitsbewaking van het distributienet op fecale verontreinigingen. In dit rapport wordt voor “automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie” uitgegaan van (een set van) BACTcontrol(s). In het rapport wordt de BACTcontrol als voorbeeld gebruikt. De kosten zijn specifiek voor de huidige BACTcontrol (anno 2016); de baten kunnen vaak generieker worden geïnterpreteerd.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Het onderzoek is opgedeeld in twee fasen. Voordat praktijkonderzoek (fase II) wordt uitgevoerd, wordt eerst een vooronderzoek (fase I) gedaan dat de voordelen verder kwantificeert, de operationele inbedding beproeft en het meetsysteem uitgebreid test op geschiktheid voor deze toepassing. De resultaten van de eerste fase zijn in dit rapport beschreven, en zijn de basis voor een go/no-go beslissing over fase II.

Fase I: Vooronderzoek (2016): Vaststellen of met meetsystemen, die automatisch, snel en semi-continu fecale verontreinigingen van het drinkwaternet kunnen detecteren, het risico voor de drinkwaterconsument beter kan worden bepaald en beheerst dan met het bestaande, wettelijke meetprogramma.

Hoofdstuk 2 schetst het kader van risicomanagement in relatie tot QMRA. Hoofdstuk 3 gaat in op de kosten van automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie, ten opzichte van het huidige monsterprogramma. Hoofdstuk 4 beschrijft de responsstrategieën in geval *E. coli* wordt aangetoond. Daarbij wordt kwalitatief beschreven wat de voordelen kunnen zijn van automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie, ten opzichte van het huidige monsterprogramma. In hoofdstuk 5 worden de baten gekwantificeerd. Daarbij gaat het om de bijdrage aan een betere schatting van het infectierisico, en om de bijdrage aan het verlagen van het infectierisico onder operationele omstandigheden en t.g.v. werkzaamheden. Ten slotte worden alle bevindingen in hoofdstuk 6 samengebracht in een evaluatie van de waarde van een meetstrategie waarin snelle, semi-continue meetsystemen voor fecale verontreiniging worden toegepast. Het primaire

afwegingscriterium is de aantoonbare mate van bescherming van de gezondheid van de drinkwaterconsument. De kosten van de meetstrategie worden meegenomen als secundair criterium. Het bestaande meetprogramma dient daarbij als referentie. Resultaat van deze stap is een aanbeveling of- en hoe door te gaan naar een praktijkevaluatie (fase 2).

Fase II: Praktijkevaluatie (2017): Onderdelen van deze fase zijn afhankelijk van fase I, gedacht kan worden aan: 1) het testen van een meetstrategie met een meetsysteem dat fecale verontreinigingen automatisch, snel en semi-continu kan detecteren, in een schaalmodel/pilot distributienet 2) het evalueren van de signaleringswaarde en praktische implicaties van de toepassing; 3) het herijken van kostenanalyse aan praktijkgegevens. De huidige praktijk van monsternamen en analyse met de kweekmethode of qPCR op het laboratorium geldt daarbij als referentie.

2 Risicomanagement fecale verontreiniging tijdens distributie

2.1 Kader risicomanagement

De drinkwaterwet stelt dat drinkwater geen pathogene micro-organismen mag bevatten in concentraties die een risico vormen voor de volksgezondheid. Voor de microbiologische veiligheid van geproduceerd drinkwater uit oppervlaktewater is hieraan een grenswaarde gesteld van 1 infectie per 10.000 personen per jaar. De wijze waarop dit wordt vastgesteld is vastgelegd in de Inspectierichtlijn Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD, Wetsteyn 2005). De waterbedrijven willen dezelfde veiligheid aantonen na distributie op het leveringspunt. Dit is dus geen wettelijke verplichting en hiervoor is geen aanpak voorgeschreven. Wel is de wijze van waterkwaliteitsmonitoring en beoordeling wettelijk voorgeschreven, deels via een verwijzing naar de Hygiënecode distributie (Meerkerk 2016). Daarom wordt in dit hoofdstuk besproken hoe risicomanagement voor distributie in relatie staat tot kwantitatieve microbiologische risicoanalyse (QMRA; Quantitative Microbial Risk Assessment). Risicomanagement, zoals in het water safety plan van de WHO (Bartram 2009), omvat een aantal stappen. In dit onderzoek houden we de volgende stappen aan:

1. Doel vaststellen
2. Risico's identificeren
3. Risico schatten (kans x gevolg)
4. Risico beoordelen (wat is acceptabel)
5. Risico beheersen:
 - a. Reacties:
 - i. Vermijden / voorkomen
 - ii. Beheersen / verminderen
 - iii. Overdragen / uitbesteden
 - iv. Accepteren
 - b. Maatregelen:
 - i. Preventief (kans aanpakken)
 - ii. Represessief (gevolg aanpakken)
6. Monitoring - early warning indicatoren

In de volgende paragrafen worden de stappen toegelicht in het licht van een QMRA benadering van distributie van drinkwater.

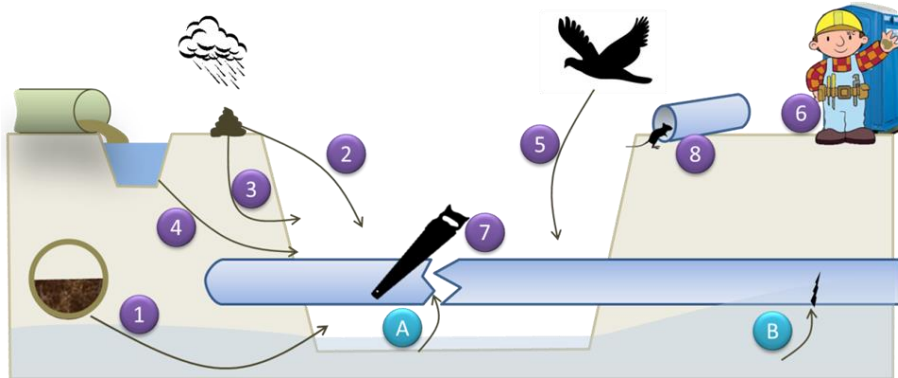
2.2 Doel vaststellen

Het doel van drinkwaterbedrijven is veilig drinkwater te leveren. Daartoe bestaat het drinkwatersysteem uit winning, zuivering en distributie. In dit rapport gaat het om het onderdeel "distributie". De zuivering levert in principe drinkwater aan het distributienet dat voldoet aan de wettelijke grenswaarde. Tijdens distributie kan het infectierisico toenemen door besmettingen. Dat kunnen besmettingen zijn tijdens werkzaamheden, of tijdens omstandigheden die niet door het waterbedrijf gekend worden ("onder operationele omstandigheden"). De levering van het drinkwater vindt plaats op het leveringspunt, doorgaans de watermeter en het drinkwaterbedrijf wil aantonen dat op dat punt het drinkwater voldoet aan de grenswaarde. Bemonstering vindt echter grotendeels plaats aan de kraan. Van de watermeter tot aan de kraan kan ook besmetting optreden, maar dit valt niet onder de verantwoordelijkheid van het drinkwaterbedrijf. Het is daarom van belang op

welk punt metingen worden uitgevoerd wanneer de resultaten worden gebruikt voor risicoschattingen.

2.3 Risico's identificeren

Blokker et al. (2016) hebben verscheidene routes geïdentificeerd die kunnen leiden tot een infectierisico ten gevolge van een fecale besmetting van het drinkwater tijdens distributie. De route van een besmetting tijdens werkzaamheden aan het net is als belangrijkste geïdentificeerd, en verder uitgewerkt (Figuur 2-1).



FIGUUR 2-1. MOGELIJKE ROUTES EN FECALE BRONNEN DIE HET DISTRIBUTIENET KUNNEN BEREIKEN TIJDENS WERKZAAMHEDEN. ROUTE A IS RECHTSTREEKS VIA DE LOCATIE WAARAAN GEWERKT WORDT, ROUTE B IS VIA EEN LEK IN EEN DEEL VAN DE LEIDING DIE TIJDENS WERKZAAMHEDEN DRUKLOOS WORDT GESTELD. BRONNEN EN ROUTES: 1) RIOOLWATER NA BODEMPASSAGE; 2) DIERLIJKE FECES DIRECT VAN MAAIVELD AFGESPOELD; 3) DIERLIJKE FECES NA BODEMPASSAGE; 4) VERVUILD OPPERVLAKTEWATER NA BODEMPASSAGE; 5) DIERLIJKE FECES DIRECT IN DE SLEUF; 6) MENSENLIJKE FECES VIA DE HANDEN VAN DE MONTEUR; 7) VERVUILD GEREEDSCHAP; 8) DIERLIJKE FECES IN DE NIEUWE LEIDING OF REPARATIESTUK.

2.4 Risico inschatten

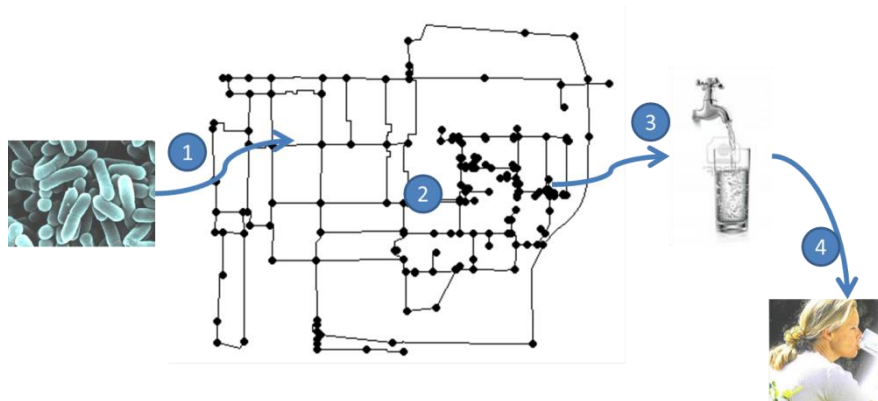
Na ieder werk wordt een monster genomen, en dat monster is bedoeld om het risico (kwalitatief) in te schatten. Wanneer een of meer *E.coli* in 100 ml wordt aangetroffen, is er gerede twijfel of er voldoende hygiënisch is gewerkt, en kunnen maatregelen (kookadvies) worden getroffen. Een negatieve uitslag is een aanwijzing dat er hygiënisch is gewerkt en alle voorzorgsmaatregelen effectief waren.

Blokker et al. (2016) hebben geprobeerd om het risico te kwantificeren, op basis van beschikbare informatie van

- analyses van drinkwatermonsters,
- analyses van monsters uit de sleuf,
- literatuurwaardes van concentraties pathogenen en indicatororganismen in rioolwater, oppervlaktewater en dierlijke feces,
- inventarisatie van afstanden tussen riool en drinkwaterleidingen.

Dit gaf beperkt inzicht in hoe vaak een besmetting optreedt, en van welke concentraties er dan sprake is.

Dit onderzoek heeft een model opgeleverd waarmee het effect van een bepaalde besmetting (een gegeven concentratie) kan worden gekwantificeerd als het aantal infecties ten gevolge van een dergelijke besmetting tijdens werkzaamheden. Daarbij is rekening gehouden met alle onzekerheden en variaties die de uitkomst kunnen beïnvloeden, in een stochastisch model (zoals o.a. de locatie en tijdstip van (einde) werkzaamheden, variatie in consumptie).



FIGUUR 2-2. BESMETTING, VERSPREIDING, CINCUMPTIE EN INFECTIE NA WERKZAAMHEDEN AAN HET DISTRIBUTIENET.

Geconstateerd is dat het risico niet '0' is, en dat er mogelijk 30 maal per jaar werkzaamheden zijn aan het distributienet in Nederland waarbij een infectie van één persoon (of meer) optreedt. Er is in Nederland geen geval geregistreerd waarbij een infectie is herleid tot werkzaamheden aan het distributienet.

2.5 Risico beoordelen

In de drinkwaterwet wordt een maximaal infectierisico van 1 op de 10.000 personen per jaar genoemd. Middels de AMVD van winning en zuivering wordt aangetoond dat het drinkwater dat het distributienet in gaat aan deze norm voldoet. In theorie zou er bij drinkwater dat juist aan de grenswaarde voldoet iedere besmetting tijdens distributie leiden tot een overschrijding. In de praktijk is het berekende theoretische risico van het geproduceerde water enkele orden van grootte lager dan de grenswaarde. Voor deze studie is daarom aangenomen dat het geproduceerde water geen fecale verontreiniging bevat en dat alle aangetoonde indicatororganismen tijdens distributie in het water terecht zijn gekomen.

Voor het infectierisico na werkzaamheden aan het distributienet is het hanteren van de grenswaarde niet eenduidig. Het risico is sterk afhankelijk van de gekozen populatie; heel Nederland, het voorzieningsgebied van het pompstation of benedenstroomse aansluitingen. Bovendien betreft het een momentaan risico waaraan men slechts enkele dagen wordt blootgesteld. Bij één uitbraak met 1.000 infecties zou het risico voor Nederland voldoen aan de grenswaarde (1000/17 miljoen), maar het zou tot grote sociale onrust leiden. Blokker et al. (2016) hebben voorgesteld om het microbiologische risico van werkzaamheden te beoordelen als een maximum (95 percentiel) van één infectie na een werk. Bij circa 30.000 werkzaamheden per jaar zou dit tot maximaal 1.500 infecties in Nederland leiden, een infectierisico kleiner dan 1 op 10.000 per jaar. Bovendien is de kans op een uitbraak van ziekte bij één werk dan erg klein. Deze benadering is praktisch hanteerbaar en staat in perspectief tot de grenswaarde voor het geproduceerde water. In deze studie wordt niet verder ingegaan op het definiëren van een grenswaarde voor het infectierisico.

2.6 Risico beheersen

2.6.1 Inleiding

In de stap van risico beheersen worden 4 mogelijke reacties benoemd: 1) Vermijden / voorkomen; 2) Beheersen / verminderen; 3) Overdragen / uitbesteden (bijvoorbeeld middels verzekeren); 4) Accepteren. In het geval van infectie na werkzaamheden aan het distributienet zijn reactie 1 en 2 vormgegeven met de hygiëncode (Meerkerk and

Kroesbergen 2010), is reactie 3 geen optie, en afhankelijk van de risicobeoordeling is reactie 4 (acceptatie) wel of niet een optie.

2.6.2 In reguliere situatie

Het leidingnet wordt onder druk gehouden, zodat er geen besmettingen kunnen optreden. Mogelijke besmetting vanuit de drinkwaterinstallatie wordt beperkt door de inzet van terugslagbeveiliging in de watermeter, maar deze falen in meer dan 20 % van de gevallen (Meerkerk 2009). Bij locaties met een verhoogd risico zoals ziekenhuizen worden 'breektanks' toegepast om terugstroming te voorkomen. Reservoirs in het net zijn waterdicht, zijn zeer beperkt toegankelijk en luchttoevoer wordt gefilterd om besmetting te voorkomen. Dit wordt periodiek geïnspecteerd met een interval van vijf tot tien jaar. Drukgolven in het leidingnet kunnen mogelijk tot insluiting van besmetting leiden bij lekken. Om dit te beheersen worden lekken snel gerepareerd. De drinkwaterbedrijven zijn aan het onderzoeken hoe ook kleine lekken sneller kunnen worden geconstateerd, en opgespoord. Tijdelijke aansluitingen via hydranten (brandkranen) voor evenementen of bluswerkzaamheden zijn voorzien van een insluitbeveiliging en gebruikers hiervan krijgen instructie of cursussen. Het document Praktijkrichtlijnen (Meerkerk 2015) geeft een volledig en actueel overzicht van allerhande voorschriften en regelingen die onder andere tot doel hebben besmetting te voorkomen.

2.6.3 Na werkzaamheden

De maatregelen die getroffen worden, zijn ofwel preventief (kans voorkomen of verminderen) ofwel repressief (gevolg verminderen) en zijn beschreven in de Hygiënecode distributie (Meerkerk 2016). In de praktijk van de drinkwaterbedrijven worden allerlei maatregelen genomen om te zorgen dat er zo min mogelijk werkzaamheden aan het net nodig zijn, dat er geen lekken zijn (route B in Figuur 2-2) en dat er geen besmetting optreedt tijdens het werk (route A in Figuur 2-2). Na het werk wordt er gespuid, zodat eventuele besmettingen worden verwijderd of verdund. Na het werk wordt een beperkt aantal afsluiters geopend ("eenzijdige voeding"), zodat een eventuele besmetting minder mensen kan bereiken. Bij een gerede kans op besmetting (ter beoordeling van de monteur) wordt een preventief kookadvies afgegeven, zodat mensen geen ongekookt drinkwater binnen krijgen. Wanneer bij waterkwaliteitscontrole een besmetting wordt geconstateerd wordt een curatief kookadvies afgegeven, wat dus een repressieve maatregel is.

Blokker et al. (2016) hebben laten zien dat kookadvies tot 80% verlaging van het infectierisico leidt, de "eenzijdige voeding" tot ca. 50% verlaging leidt, en vertakt ontwerpen het systeem inherent veiliger maakt, omdat een verspreiding vanuit de laatste takken verder het net in niet kan plaatsvinden. Ander onderzoek (van Bel 2016) heeft laten zien dat in een laboratoriumopstelling bij aanwezigheid van een biofilm spuien tot een 3-log verwijdering van *E. coli* leidde, en dus niet alles verwijderde.

2.7 Monitoring

2.7.1 Inleiding

Monitoring kan bijdragen aan verschillende stappen in het risicomanagement. In het geval van fecale verontreiniging tijdens distributie wordt met name ingezet op de stap "risico schatten", waarbij volgens de water safety plans de waterkwaliteitsbewaking van het net primair bedoeld is ter verificatie dat alle beheersmaatregelen voor de bescherming van de waterkwaliteit in het net (zoals druk, integriteit, terugstroombescherming, hygiëne tijdens werkzaamheden) hun werk doen, en op de stap "risico beheersen", zodat eventueel maatregelen getroffen kunnen worden. Mogelijk kan monitoring ook bijdragen aan het meer

kwantitatief inschatten van het risico. De baten van monitoring worden in het volgende hoofdstuk verder uitgewerkt.

Monitoring (zoals monsternamen en analyse op *E. coli*) gebeurt zowel na werkzaamheden als regulier. De schatting van het infectierisico wordt (mede) op beide monitorprogramma's gebaseerd. Het beheersen van het risico wordt in beide situaties belicht.

2.7.2 Monitoring t.b.v. het verbeteren van de waterkwaliteitsbewaking

In eerder onderzoek is laten zien dat de detectiekans van een fecale besmetting na werkzaamheden ongeveer 25% is in de huidige situatie van monsternamen na 12-24 uur. Door bijvoorbeeld 1 – 4 uur na werkzaamheden een monster te nemen kan de detectiekans worden verhoogd (Blokker et al. 2016). In dezelfde studie is laten zien dat een groter monstervolume tot een verhoogde detectiekans leidt. Met online sensoren kan eerder en vaker een monster worden genomen, zodat een grotere detectiekans wordt bereikt.

Voor de reguliere monsternamen voor de detectie van fecale verontreinigingen in het distributienet blijkt dat de detectiekans ca. 3-5% is; en door de inzet van (semi)continue on-site meetsystemen van *E. coli* op optimale locaties in het distributienet kan de detectiekans significant worden verhoogd (van Vossen-Van Den Berg et al. 2015). Daarmee kan de waterkwaliteitsbewaking ook sterk worden verbeterd.

2.7.3 Monitoring t.b.v. het verbeteren van de kwantitatieve risicoschatting

De drinkwaterbedrijven willen aantonen dat het geleverde water voldoet aan de grenswaarde voor het risico. De risicoschatting in eerder onderzoek is nog erg onzeker (Blokker et al. 2016). Dit is deels het gevolg van de beperkingen van de huidige meetstrategie, die niet is ontworpen voor een risicoschatting. Er worden weinig besmettingen aangetoond, maar de detectiekans is ook erg laag. Door de vele handelingen bestaat een risico op vals positieve of negatieve resultaten of op onterechte goedkeuring. De vraag is hoe een automatische, snelle, semi-continue meting kan bijdragen aan het beperken van de onzekerheid bij de schatting van het infectierisico.

2.7.4 Monitoring voor risicobeheersing tijdens operationele condities

In de risicobeheersing moet monitoring worden gecombineerd met maatregelen die leiden tot verlaging van het infectierisico. Een automatische, snelle, semi-continue meting kan eerder uitslag geven over de waterkwaliteitscontrole en daarmee kunnen eerder maatregelen worden getroffen zodat de blootstellingsduur wordt beperkt. Afhankelijk van hoeveel en welke sensoren voor hoe lang een positief signaal laten zien, kan bepaald worden wat de bron is (en deze verwijderen) en wat het verspreidingsgebied is (en de mensen in dat gebied een kookadvies geven). De effectiviteit van een kookadvies, in relatie tot het verkleinen van het infectierisico, hangt ook af van de responstijd na de detectie van de besmetting.

2.7.5 Monitoring t.b.v. risicobeheersing na werkzaamheden

Een automatische, snelle, semi-continue meting kan eerder uitslag geven over de waterkwaliteitscontrole en kan meerdere monsters nemen, zodat de waterkwaliteitscontrole meer representatief is voor het mogelijk besmette watervolume. In de risicobeheersing heeft monitoring alleen een toegevoegde waarde als er maatregelen zijn die ook leiden tot verlaging van het infectierisico. Een effectieve maatregel na verontreiniging bij werkzaamheden is het afgeven van een kookadvies (Blokker et al. 2016). Daarbij hanteren drinkwaterbedrijven verschillende strategieën, afhankelijk van de situatie:

- Altijd een preventief kookadvies zolang waterkwaliteit niet gecontroleerd is
- Alleen een preventief kookadvies bij verhoogd risico tijdens werk
- Een curatief kookadvies nadat waterkwaliteitscontrole besmetting constateert

Het kookadvies wordt bij voorkeur beperkt om overlast voor de klant te beperken. Een snellere waterkwaliteitscontrole heeft in alle strategieën een voordeel. Een preventief kookadvies kan eerder worden opgeheven, zodat er minder overlast is, of een curatief kookadvies kan eerder worden gegeven, waardoor klanten minder lang worden blootgesteld aan een besmetting.

Door een meer representatieve monstername van het mogelijk besmette leidingdeel, wordt de kans op onterechte goedkeuring van de leiding verkleind. Omdat na goedkeuring de eenzijdige voeding wordt opgeheven, zal een onterechte goedkeuring leiden tot een risico voor het benedenstroomse gebied.

3 Kosten van “automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie”

3.1 Inleiding en doel

Dit hoofdstuk betreft het schatten van de kosten van de huidige aanpak met monsternamen en *E. coli* analyse op het laboratorium en van een alternatief met online monitoring van *E. coli*. De invloed van verschillende keuzes op deze kosten wordt ook onderzocht. Nadruk ligt daarbij niet op de nauwkeurigheid van de kostenraming maar op het inzicht krijgen in welke elementen bepalend zijn voor de kosten. Ook geeft het een indruk van de financiële haalbaarheid van een nieuwe aanpak. De kosten voor transitie van de oude naar de nieuwe aanpak, bijvoorbeeld wanneer beide tijdelijk gelijktijdig operationeel zijn, zijn geen onderdeel van het onderzoek.

3.2 Aanpak

De kosten van monitoring kunnen sterk worden beïnvloed door de situatie, een stedelijke omgeving is veel compacter dan dorpen in het buitengebied. De kosten voor monsternamen kunnen in het buitengebied hoger zijn door de grotere afstand tussen monsterpunten en daarmee langere reistijd. In de studie wordt het voorzieningsgebied van pompstation een pompstation beschouwd dat zowel aan een stedelijk als aan een landelijk gebied levert. De door het waterbedrijf beschikbaar gestelde werkelijk gemaakte monitoringskosten in 2015 (info van het waterbedrijf, persoonlijke communicatie 2016) geven dus een beeld van de kosten in een gemengd gebied. Directe financiële baten van online monitoring zijn de kostenbesparingen doordat handelingen niet meer hoeven worden uitgevoerd, bijvoorbeeld monsternamen en laboratoriumanalyse. Indirecte financiële baten zijn kostenbesparingen als gevolg van een andere manier van werken, bijvoorbeeld sneller een leiding in bedrijf nemen. Naast financiële baten (kostenbesparing) zijn er ook niet financiële baten, zoals betere waterkwaliteitsbewaking, potentieel lager gezondheidsrisico, klantvertrouwen en klantcomfort. Indirecte en niet-financiële baten worden elders in dit rapport besproken.

In dit hoofdstuk worden de directe financiële kosten en baten voor verschillende scenario's beschouwd:

- Vervangen *E. coli* bemonstering aan de tap door online *E. coli* monitoring in het net;
- Alle bemonstering van bewakings- en auditparameters aan de tap wordt vervangen door online monitoring;
- Inzet online monitoring bij werkzaamheden;
- Maximale inzet van online monitoring versus huidige monitoringsfrequenties;
- Maximale inzet van online monitoring versus een gelijk monitoringsfrequentie met monsternamen aan de tap.

3.3 Voorbeeld voorzieningsgebied

3.3.1 Beschrijving situatie van het voorzieningsgebied

Een grondwaterpompstation levert water voor een groot deel van de provincie, inclusief een deel van een grotere stad. De totale drinkwaterlevering bedraagt 23 miljoen m³/jaar, gemiddeld 63.000 m³/dag. Geschat wordt dat ruim een half miljoen inwoners van drinkwater

worden voorzien, op basis van een waterverbruik van 119 liter per persoon per dag en bij verwaarlozing industrieel gebruik.

3.3.2 Monstername *E. coli* aan de tap

Voor de wettelijke *E. coli* monsterneming gelden anno 2016 de meetfrequenties in Tabel 3-1 (Drinkwaterbesluit 2011). Voor een gebied met 100.000 inwoners moeten circa 155 monsters per jaar worden genomen aan het tappunt. Voor het voorzieningsgebied zouden volgens de monsterfrequentie in Tabel 3-1 832 monster aan de kraan moeten worden genomen. In 2015 zijn 772 monsternames geregistreerd, waarbij niet bekend is waarom dit er minder zijn dan berekend. In het voorzieningsgebied worden dus circa 15 monsters per week of 3 monsters per werkdag genomen.

TABEL 3-1. WETTELIJKE MEETFREQUENTIES *E. COLI* (DRINKWATERBESLUIT 2011)

Meetlocatie	Monsterfrequentie
A. af grondwaterpompstation (p)	52 keer per jaar
B. af oppervlaktewaterpompstation (p)	365 keer per jaar
C. bemonstering aan het tappunt (t)	26 keer per jaar per 2000 m ³ /dag

Deze monsters worden naar het laboratorium van het waterbedrijf gebracht waar deze worden onderzocht op bacteriën van de coligroep. Bij een positief resultaat wordt met behulp van Maldi-TOF onderzocht of daar ook *E. coli* bij aanwezig is. Bacteriën van de coligroep worden zelden aangetroffen in drinkwater, dus de verdere analyse naar *E. coli* wordt maar op enkele monsters uitgevoerd. In heel Nederland heeft in 2012 15 maal een overschrijding voor bacteriën van de coligroep plaats gevonden, en is 8 maal *E. coli* aangetroffen in monsters uit het distributienet (Versteegh and Dik 2015). De drinkwaterlaboratoria hebben de processen op de laboratoria vergaand geautomatiseerd en geoptimaliseerd. Door het grote aantal analyses zijn de kosten per analyse relatief laag. De analysekosten bedragen €12,40 per monster op basis van arbeidstijd en gebruikte materialen. Voor het voorzieningsgebied bedroegen de totale kosten €9.572 voor *E. coli* analyse. Een belangrijke kostenpost is de benodigde (reis)tijd voor monsternamen en transport. In de huidige opzet is de logistiek geoptimaliseerd en worden activiteiten gecombineerd. Een monsternemer neemt zowel monsters voor *E. coli* als voor andere hoog-frequente wettelijke parameters, die hierna worden besproken. Voor het voorzieningsgebied bedragen de kosten voor reguliere monsternamen aan de tap circa €11.966 per jaar. De totale huidige kosten voor *E. coli* monsternamen en analyse aan de tap bedragen dus €21.539.

3.3.3 Monsternamen overige parameters aan de tap

In het drinkwaterbesluit wordt onderscheid gemaakt tussen 'bewakingsparameters' (Tabel 3-2) en 'auditparameters' (Tabel 3-3). In Tabel 3-4 zijn de wettelijk vereiste meetfrequenties opgenomen. Deze zijn afhankelijk van de grootte van het voorzieningsgebied. De te meten parameters zijn afhankelijk van factoren die zijn aangegeven in de voetnoten bij de tabellen, zoals de bron voor drinkwaterproductie, gebruik van desinfectiemiddelen of gebruikte leidingmaterialen.

De bepaling van bacteriën van de coligroep, koloniegetal 22°C en *Aeromonas* zijn microbiologische parameters die onder de bewakings- en auditparameters vallen. *E. coli* maakt deel uit van de bacteriën van de coligroep, die als een niet specifieke indicator van fecale besmetting wordt beschouwd omdat deze groep ook organismen bevat die in het milieu kunnen groeien. De BACTcontrol kan geschikt worden gemaakt voor analyse op

bacteriën van de coligroep, maar dit is nog niet volledig getest. Er zijn ook automatische systemen voor bepaling van het totale bacterieaantal (Smeets et al. 2015) die mogelijk het koloniegetal 22°C zou kunnen vervangen. Voor *Aeromonas* is geen automatische meting beschikbaar. In de kostenbeschouwing wordt aangenomen dat deze microbiologische bewakings- en auditparameters in het laboratorium worden bepaald.

TABEL 3-2 BEWAKINGSPARAMETERS AAN DE TAP VOLGENS DRINKWATERBESLUIT

Parametergroep	Parameter te meten aan de tap
II. Chemische parameters	Nitriet (noot 5)
IIIa. Indicatoren, bedrijfstechnische parameters	Ammonium, Bacteriën van de coligroep (noot 6), Geleidingsvermogen, Koloniegetal bij 22 °C, Zuurgraad
IIIb. Indicatoren, organoleptische / esthetische parameters	Geur, Kleur, Smaak, Troebelingsgraad

5. Alleen een meetverplichting indien oppervlaktewater wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater.

6. Voor deze parameter geldt een minimumfrequentie van 2 keer de bewakingsfrequentie overeenkomstig Tabel 3-4.

TABEL 3-3 AUDITPARAMETERS AAN DE TAP VOLGENS HET DRINKWATERBESLUIT

Parametergroep	Parameters te bepalen aan de tap
II. Chemische parameters	Antimoon, Benzeen, Bromaat (noot 7), Cadmium, Chroom, Koper (noot 6), Lood (noot 6), Nikkel (noot 6), Nitriet, Trihalomethanen (noot 7)
IIIa. Indicatoren -Bedrijfstechnische parameters	Aeromonas, Hardheid (totaal) (noot 13), Temperatuur, Saturatie Index, Waterstofcarbonaat, Zuurstof
IIIb. Indicatoren - Organoleptische / esthetische parameters	Mangaan, IJzer

6. Deze parameters worden bemonsterd volgens de methode 'Random Day Time (RDT)' volgens een frequentie van tweemaal de audit frequentie vastgesteld in tabel II. Deze methode is beschreven in de 'VROM-Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit'.

7. Alleen een meetverplichting indien deze stof als desinfectiemiddel wordt toegepast of indien deze stof als verbinding bij de toegepaste desinfectie- of oxydatietechniek gevormd kan worden.

13. Hardheid omvat calcium en magnesium.

TABEL 3-4 WETTELIJKE MONSTERNAMEFREQUENTIE VOOR BEWAKINGS- EN AUDIT-PARAMETERS

Dagelijks binnen een leveringsgebied (noot 1) gedistribueerde of geproduceerde hoeveelheid water (noot 2) in kubieke meters	Bewaking Aantal monsternemingen per jaar	Audit Aantal monsternemingen per jaar
≤ 100	2	1
> 100 ≤ 1 000	4	1
> 1000 ≤ 10 000	4 +3 voor elke 1000 m³/dag en fractie daarvan van de totale hoeveelheid	1 +1 voor elke 3300 m³/dag en fractie daarvan van de totale hoeveelheid
> 10 000 ≤ 100 000	4 +3 voor elke 1000 m³/dag en fractie daarvan van de totale hoeveelheid	3 +1 voor elke 10 000 m³/dag en fractie daarvan van de totale hoeveelheid
> 100 000	4 +3 voor elke 1000 m³/dag en fractie daarvan van de totale hoeveelheid	10 +1 voor elke 25 000 m³/dag en fractie daarvan van de totale hoeveelheid

Voor voorzieningsgebied moeten de auditparameters 9 keer per jaar worden genomen. De bewakingsparameters moeten 193 keer per jaar worden gemeten. Dit is een factor 4 lagere meetfrequentie dan voor *E. coli*. Kosten voor monstername en transport zouden dus globaal met een factor vier kunnen worden gereduceerd wanneer *E. coli* monitoring aan de tap zou vervallen. Voor voorzieningsgebied zou circa €18.128 per jaar kunnen worden bespaard. In Tabel 3-5 zijn de kosten en de geraamde besparing weergegeven.

Als vergelijking met het online meten met de maximale frequentie zijn in Tabel 3-5 de kosten berekend wanneer deze monitoring met monstername zou worden uitgevoerd. Daarbij is aangenomen dat de kosten voor monstername evenredig stijgen. Dat is waarschijnlijk een overschatting omdat meer monsternames zouden worden gecombineerd, zodat dit efficiënter zou verlopen.

TABEL 3-5 HUIDIGE KOSTEN E. COLI BEMONSTERING EN ANALYSE VOORZIENINGSGEBIED EN RAMING BIJ VERHOOGDE MEETFREQUENTIE, GELIJK AAN ONLINE MONITORING

Monsternamen per jaar	Regulier (huidig)	Maximaal (theoretisch)
Inwoners	500.000	500.000
<i>E. coli</i> monsters per jaar	722	8760
Bewakingsparameters	196	196
Auditparameters	10	10
Monsternamenkosten	€8.975	€135.780
Monsternamenkosten excl. <i>E. coli</i>	€1.695	€1.695
Analysekosten <i>E. coli</i>	€9.573	€108.624
Kosten <i>E. coli</i> monster en analyse (=besparing bij vervallen <i>E. coli</i>)	€18.547	€253.164

Naast het online meten van *E. coli* wordt (onder andere door Vitens) onderzocht of ook andere online gemeten waterkwaliteitsparameters kunnen worden gebruikt om de waterkwaliteit aan de tap te bewaken en auditen. Deels betreft dit de bewakings- en auditparameters in

Tabel 3-2 en Tabel 3-3 zoals geleidbaarheid en troebelheid en daarnaast meer generieke metingen om veranderingen van waterkwaliteit te detecteren. Mogelijk vervangt dit in de toekomst daarmee ook andere metingen (bewakings- en auditparameters) aan de tap, al zal dit op lange termijn zijn in verband met wettelijke verplichting. In dat geval vervallen de kosten van €33.211 voor monsternamen aan de tap, transport en analyse volledig. Deze maximale besparing is alleen mogelijk wanneer ook *E. coli* monitoring aan de tap vervalt.

3.4 Kosten E. coli analyse met online monitor

De kosten van *E. coli* analyse met een online monitor zijn nog niet op basis van lange-termijn-bedrijfsvoering bekend, daarom worden als voorbeeld de kosten geschat op basis van kentallen van de leverancier van de BACTcontrol; MicroLAN (Appels, persoonlijke communicatie najaar 2016). Voor de kostenschatting wordt gebruik gemaakt van een vereenvoudigde versie van het kostenmodel beschreven door van Summeren (2016). Kosten voor energie, datatransfer, licenties en projectkosten zijn niet in de kostenvergelijking opgenomen, omdat deze relatief gering zijn en deze mate van nauwkeurigheid niet nodig is voor deze studie. Bij de kostenschatting wordt onderscheid gemaakt tussen investeringskosten en variabele kosten. Onder investeringskosten vallen de aanschaf van de monitor, het inrichten van een monsterlocatie, en het plaatsen van de monitor. De huidige aanschafprijs van de BACTcontrol bedraagt €45.000,-. De kosten voor het inrichten van een meetlocatie en realiseren van aansluitingen voor elektriciteit, communicatie, watertoe- en afvoer zijn locatie-specifiek. Het waterbedrijf heeft tot nu toe locaties geselecteerd waar voorzieningen al grotendeels aanwezig waren, en die toegankelijk zijn voor medewerkers. Bij een voor de meting optimale plaatsing moeten mogelijk meer kosten worden gemaakt voor de realisatie, zoals de plaatsing van een vorstvrije meetkast. Dit zijn eenmalige kosten waarvan de hoogte en de afschrijvingstermijn sterk situatieafhankelijk en daarom nog onbekend zijn. Vooralsnog wordt aangenomen dat zij bij de huidige meetlocaties van het waterbedrijf worden toegevoegd zodat kosten gering zijn. Deze kosten zijn daarom niet in de kostenraming opgenomen. De geschatte levensduur van de monitor bedraagt 10 jaar. In de kostenraming is ervoor gekozen de financiële afschrijving over dezelfde periode te laten lopen. De variabele kosten bestaan uit kosten van reagentia, reinigingsvloeistof, onderhoud en onderdelen die regelmatig moeten worden vervangen, zoals het filter. Vervanging van reagentia en het filter is nodig na circa 450 metingen en kost circa €2,50 per *E. coli* monster (circa €1.125 per set). De reinigingsvloeistof is een chlooroplossing, waarvan de kosten verwaarloosbaar klein zijn. De levensduur van het filter is afhankelijk van de waterkwaliteit, maar verwachting van de leverancier is dat deze bij drinkwater minstens 450 metingen mee gaat en gelijktijdig met de reagentia wordt vervangen. Daarnaast wordt jaarlijks onderhoud

gepleegd waarbij een specialist een dag lang het gehele apparaat onder handen neemt. Uitgangspunt is dat dit via een onderhoudscontract met de leverancier wordt ingevuld voor circa €1.000 per monitor. De variabele kosten per monster in Tabel 3-6 zijn dus lager dan de laboratoriumanalyses in Tabel 3-5, maar de benodigde investeringen leiden tot extra kosten. De totale kosten worden geraamd op €46.338 per jaar bij opstelling van vier monitors inclusief afschrijving, reagentia, vervoer en arbeidstijd. Hiervan is 39% afschrijving van de monitor en 47% de reagentia. Daarbij is uitgegaan van de maximale analysefrequentie van 4 uur. Bij een lage meetfrequentie van één monster per 48 uur worden 730 monsters per jaar genomen; ongeveer gelijk aan de meetfrequentie van het huidige monsternameprogramma, maar wel op andere locaties. De jaarlijkse kosten bedragen dan €24.028 waarvan 69% voor de afschrijving. In het onderzochte scenario is uitgegaan van 4 monitors voor het voorzieningsgebied. Het optimale aantal monitors en meetfrequentie is afhankelijk van het gebied en de het optimalisatiedoel (detectiekans, bescherming etc.).

TABEL 3-6 RAMING KOSTEN ONLINE MONITORING MET BACTCONTROL BIJ BEPERKTE EN MAXIMALE MONSTERFREQUENTIE

Monitoring per jaar	BACTcontrol (beperkt)	BACTcontrol (maximaal)
Inwoners	500.000	500.000
BACTcontrols	4	4
Aanschafkosten	€180.000	€180.000
Afschrijving per jaar (10j)	€18.000	€18.000
Meetfrequentie (h)	48	4
Monsters per jaar	730	8760
Monsters per reagentia-set	450	450
Kosten reagentia vervangen	€2.028	€24.338
Onderhoudsbeurt (1/jaar)	€4.000	€4.000
Totale kosten per jaar	€24.028	€46.338

Meetresultaten moeten worden ingevoerd in de laboratorium-informatie systemen (LIMS) en bij een overschrijding van de norm moet een alarm worden gegenereerd. De uitlezing van metingen, dataverwerking en communicatie vinden bij de monitor automatisch plaats. Kosten voor de dataverbinding (sim-kaart) kunnen worden verwaarloosd. Op het laboratorium worden resultaten handmatig afgelezen (tellingen) en ingevoerd. De kosten hiervoor zijn opgenomen in de prijs per monster. Een alarm bij de overschrijding van de norm wordt automatisch in het LIMS gegenereerd. Kosten voor dataverwerking en communicatie zijn daarom niet van invloed op de kostenvergelijking. Wel geeft online monitoring veel eerder een alarm (enkele uren na de meting in plaats van twee dagen). In theorie zal ook vaker een alarm plaatsvinden, omdat de detectiekans groter is (zie Hoofdstuk 5). De kosten voor respons zullen dan ook toenemen. Deze mogelijke vervolgcosten zijn niet in de kostenvergelijking opgenomen.

Uit vergelijking tussen Tabel 3-5 en Tabel 3-6 blijkt dat online monitoring €5.481 meer kost dan wordt bespaard door het staken van monsternamen aan de tap wanneer hetzelfde aantal metingen wordt uitgevoerd. Dit is een toename van 30%. Het doel is echter om veel meer metingen uit te voeren met de online monitoring om zo de veiligheid van het water beter te borgen. Bij maximale inzet wordt twaalfmaal vaker gemeten voor iets minder dan tweemaal de kosten bij beperkte inzet. Een twaalfmaal hogere monsterfrequentie met analyse op het laboratorium zou tot ongeveer twaalfmaal hogere kosten leiden. Bij meer metingen per jaar is online meten dus goedkoper. In dit voorbeeld ligt het omslagpunt rond 850 monsters per jaar, oftewel een meetinterval van 42 uur. Dit omslagpunt is afhankelijk van het aantal monitors dat wordt ingezet. Bij 8 monitors (verdubbeling) ligt het omslagpunt bij 1700 monsters per jaar, wat ook overeenkomt met een meetinterval van 42 uur. In het algemeen kan worden gesteld dat met online monitors het voordeliger is om op enkele plaatsen met een hoge frequentie te meten dan op veel plaatsen met een lage frequentie. Dit is het gevolg

van de hoge investeringskosten die 40% tot 75% van de analysekosten omvatten bij hoge respectievelijk lage meetfrequentie.

3.5 Kosten online *E. coli* monitor na werkzaamheden

Voor de risicobeheersing bij werkzaamheden in het distributienet verwijst het drinkwaterbesluit naar de Hygiëncode distributie (Meerkerk 2016). Voor deze studie is de voorgeschreven waterkwaliteitscontrole na werkzaamheden relevant:

- Na afsluiten en spuien van de leiding wordt na 12-24 uur* een monster genomen
- *E. coli*, intestinale enterococcen en bacteriën van de coligroep moeten afwezig zijn in 100 ml
- Controle op koloniegetal 22°C wordt aanbevolen (<1.000 kve/ml)
- Bij transportleidingen en optioneel kleinere leidingen wordt 24 uur na het eerste monster een tweede monster genomen
- Bij herhalingsmonsters moeten twee achtereenvolgende monsters negatief zijn voor *E. coli*, enterococcen en bacteriën van de coligroep voor goedkeuring van de leiding
- Een drinkwaterbedrijf kan een preventief kookadvies afgeven totdat de uitslag van de waterkwaliteitscontrole bekend is (optioneel)

* Uit onderzoek blijkt dat monsternamen kort na spuien een betere indicatie geeft van besmetting van de leiding (van Bel et al. 2016). Dit alternatief wordt nu door een aantal drinkwaterbedrijven in de praktijk onderzocht.

Hoewel *E. coli* en intestinale enterococcen beide van fecale herkomst zijn, is bij waterkwaliteitscontrole vaak *E. coli* aangetroffen in afwezigheid van enterococcen en andersom (Smeets et al. 2015). Mogelijke oorzaken zijn andere overleving van *E. coli* en enterococcen, andere fecale bronnen of detectie van enterococcen die in het milieu kunnen groeien. Dat laatste geldt ook voor de bacteriën van de coligroep. Zowel enterococcen als bacteriën van de coligroep kunnen met de BACTcontrol worden gemeten, en ontwikkeling daarvan loopt. Dat betekent wel dat per parameter een BACTcontrol moet worden geplaatst. Voor het voorliggende onderzoek wordt uitgegaan van alleen controle op *E. coli* met de BACTcontrol na werkzaamheden die direct start na het spuien van de leiding, omdat dit volgens de huidige inzichten de beste manier is om besmetting na werkzaamheden aan te tonen.

Hoewel de huidige *E. coli* sensor (BACTcontrol) ontworpen is voor een vaste opstelling, is het mogelijk dat er op korte termijn een verplaatsbare versie wordt ontwikkeld. Deze zou direct na werkzaamheden en spuien van het distributienet kunnen worden aangesloten als alternatief voor monsternamen en labanalyse.

In Tabel 3-7 wordt een voorbeeld gegeven van de gang van zaken bij online monitoring versus de laboratoriumanalyse met de huidige kweekmethode of de snelle RT-PCR methode. Daarbij is gestreefd naar een snel resultaat door op een paar punten af te wijken van de aanbevelingen in de hygiëncode. Zo vindt het aansluiten van de BACTcontrol respectievelijk monsternamen direct na spuien plaats en wordt gedurende 12 uur gemeten in plaats van 12 uur wachttijd voor het eerste monster. De optionele 2^e monsternamen (voor transportleidingen) is 24 uur na de eerste monsternamen.

De BACTcontrol geeft na 1 tot 2 uur het eerste resultaat, waarna het systeem zichzelf reinigt. Voor vervolgmetingen is een frequentie van eens per 4 uur toegepast. In het voorbeeld is aangenomen dat gedurende 15 uur wordt gemeten, om zo te voldoen aan de huidige eis van 12-24 uur wachttijd in de Hygiëncode. In die periode worden 4 metingen uitgevoerd, zodat meteen een aantal herhaalmonsters is genomen. Aangenomen is dat de leiding in die tijd

een aantal malen is doorstroomd. Bij transportleidingen kan eventueel langduriger worden gemeten wanneer de verversing langer duurt dan 15 uur. Bij afkeuring zal de BACTcontrol op locatie blijven om na reinigingsacties opnieuw te starten met meten.

Om 18:00 u is het eerste resultaat beschikbaar. Als het drinkwaterbedrijf een preventief kookadvies heeft afgegeven kan dit bij afwezigheid van *E. coli* worden opgeheven¹. Een drinkwaterbedrijf kan er ook voor kiezen het kookadvies 'automatisch' op te heffen door bij werkzaamheden informatie aan de klant te geven dat zonder nader bericht water vanaf 18:00 u weer veilig is om te drinken. Bij aanwezigheid van *E. coli* om 18:00 u kan alsnog snel een kookadvies worden gegeven respectievelijk gehandhaafd met eventuele berichtgeving naar de klant. Vergelijkbare acties zijn mogelijk bij het 2^e, 3^e en 4^e resultaat, hoewel een middernachtelijke afgifte van een kookadvies mogelijk niet gewenst is. De volgende ochtend kan de leiding worden vrijgegeven.

Bij analyse op het laboratorium moet het monster eerst naar het laboratorium worden getransporteerd. Voor de tijd tussen monsternamen en start analyse op het laboratorium is 1 uur aangenomen. De RT-PCR methode geeft binnen 3 uur een resultaat zodat rond 20:00 u een besluit kan worden genomen over het kookadvies (zie mogelijkheden hierboven). Om tegemoet te komen aan de 12-24 uur wachttijd zou een tweede monster genomen kunnen worden tussen 4:00 u 's nachts en 16:00 u 's middags. Dit monster is niet opgenomen in het schema, omdat niet wordt verwacht dat dit in de praktijk zal plaatsvinden.

Bij de kweekmethode is na circa 18 uur bekend of er verdachte kolonies aanwezig zijn en zo ja, dan is bevestiging nodig om te bepalen of *E. coli* aanwezig is. Deze bevestiging kan enkele uren tot 24 uur duren, afhankelijk van de gebruikte methode. In dit voorbeeld is een totale analysetijd van 24 uur aangehouden. Bij afwezigheid van verdachte kolonies om 11:00 u de volgende dag is er dus sprake van een negatief resultaat en kan het kookadvies worden opgeheven. Bij aanwezigheid moet het resultaat van bevestiging op *E. coli* om 17:00 u worden afgewacht. Ook bij deze aanpak geldt dat een niet tegemoet wordt gekomen aan de 12-24 uur wachttijd voor het eerste monster (zie hierboven).

Het voorbeeld maakt duidelijk dat met de BACTcontrol of de snelle RT-PCR analyse op het laboratorium nog dezelfde dag bekend is of er besmetting is opgetreden. In het gros van de gevallen zal geen besmetting worden aangetroffen, wat betekent dat de klant minder hinder ondervindt van een preventief kookadvies. Zonder een preventief kookadvies wordt de veiligheid van de klant beter geborgd door een kortere mogelijk blootstelling aan besmettingen. Het drinkwaterbedrijf kan de volgende ochtend de activiteiten rond het werk afronden, zoals afsluiters openen en monsterkasten verwijderen (die activiteiten worden waarschijnlijk niet 's nachts uitgevoerd). De BACTcontrol biedt gedurende de nacht nog een extra borging van de veiligheid door nog 4 monsters te nemen. Dit biedt voor grote (transport)leidingen met weinig verversing een voordeel, omdat water afkomstig vanuit verschillende delen van de leiding wordt onderzocht. Drinkwaterbedrijven kunnen afwijken van dit protocol door bijvoorbeeld meerdere meetresultaten af te wachten voor opheffing van het kookadvies of vrijgave van de leiding, of door eerder herhalingsmonsters te nemen.

¹ tenzij een waterbedrijf er voor kiest om pas na twee of meer negatieve resultaten het kookadvies op te heffen.

TABEL 3-7 VOORBEELD TIJDSHEMA BIJ ONLINE METING VERSUS MONSTERNAME NA WERKZAAMHEDEN

Tijdstip	Online	Laboratorium RT-PCR (snelle methode)	Laboratorium Huidige kweekmethode
15:00	Spuien+ Preventief kookadvies?	Spuien+ Preventief kookadvies?	Spuien+ Preventief kookadvies?
16:00	Aansluiten BACTcontrol	Monstername	Monstername
17:00		Start analyse	Start analyse
18:00	1 ^e resultaat Opheffen p-kookadvies ¹ Bij afkeuring acties ²		
20:00		1 ^e resultaat Opheffen p-kookadvies ¹ Bij afkeuring acties ²	
22:00	2 ^e resultaat Bij afkeuring acties ²		
02:00	3 ^e resultaat Bij afkeuring acties ²		
06:00	4 ^e resultaat Bij afkeuring acties ²		
07:00	Vrijgave leiding na >12 uur meten Bij afkeuring acties ² BACTcontrol naar nieuwe locatie (optioneel meting 12 uur handhaven)		
11:00			1 ^e resultaat verdachte kolonies Opheffen p-kookadvies ¹ of bevestiging <i>E. coli</i> afwachten
16:00	(Optioneel vrijgave na 24 uur meten)	(Optioneel 2 ^e monstername)	(Optioneel 2 ^e monstername)
17:00		(Optioneel Start 2 ^e analyse)	1 ^e resultaat <i>E. coli</i> Opheffen p-kookadvies ¹ Bij afkeuring acties ² (Optioneel Start 2 ^e analyse)
20:00		(Optioneel 2 ^e resultaat Vrijgave leiding)	
11:00			(Optioneel 2 ^e resultaat verdachte kolonies Vrijgave leiding of bevestiging <i>E. coli</i> afwachten)
17:00			(Optioneel 2 ^e resultaat <i>E. coli</i> Vrijgave leiding)

¹p-kookadvies is preventief kookadvies²Acties bij afkeuring kunnen zijn het uitvaardigen van een kookadvies, reinigen (bijvoorbeeld opnieuw spuien of chloren), herbemonstering en nader onderzoek naar de oorzaak.

De monsternemer hoeft na plaatsing van de BACTcontrol niet na 24 uur een tweede monster te nemen, maar moet wel terugkeren om de BACTcontrol weer weg te halen (en ergens anders te plaatsen). Bij een positief monster neemt de BACTcontrol automatisch herhalingsmonsters, en hoeft er geen monsternemer te worden gestuurd. Qua tijdbesteding en reizen voor de monsternemer of plaatsen en weghalen BACTcontrol zal er daarom weinig verschil zijn. In principe moet men beschikken over minimaal zoveel BACTcontrols als er werkzaamheden zijn op een dag. Wanneer de BACTcontrol wordt ingezet als een mobiel lab duurt het ca. 2 uur voordat de uitslag bekend is. Waarschijnlijk gaat een monsternemer daar niet op zitten wachten, en begeeft zich naar elders. Een aantal uren later, of de volgende ochtend kan de BACTcontrol weer worden opgehaald en elders worden ingezet. Hoewel het aantal werkzaamheden per dag kan verschillen wordt in dit voorbeeld uitgegaan van maximaal 10 werken per dag in het voorzieningsgebied. Dit betekent de aanschaf van 10 BACTcontrols. De kosten voor aanschaf van een mobiele BACTcontrol zijn niet bekend. Deze worden geraamd op gelijke kosten als de vaste BACTcontrol. In Tabel 3-8 zijn de kosten geraamd voor de huidige waterkwaliteitscontrole met monsters en analyse op het laboratorium en voor het alternatief door een BACTcontrol te plaatsen. De kosten voor reizen en tijd ter plaatse zijn daarbij niet geraamd, omdat deze vrijwel overeenkomen. Verder is aangenomen dat de BACTcontrols 100% van de tijd worden ingezet.

TABEL 3-8 RAMING KOSTEN ONLINE MONITORING MET BACTCONTROL NA WERKZAAMHEDEN

Monitoring per jaar	BACTcontrol (beperkt)	Huidig (monsternamer)
Werken per dag	10	10
Werken per jaar	3.650	3.650
BACTcontrols	10	-
Aanschafkosten	€450.000	
Afschrijving per jaar (10j)	€45.000	
Meetfrequentie	4 (h)	2 (maal)
Monsters per jaar	21.900	7.300
Monsters per reagentia-set	450	
Kosten reagentia vervangen	€54.750	
Onderhoudsbeurt (1/jaar)	€10.000	
Analysekosten laboratorium		€12,40
Totale kosten per jaar	€109.750	€90.520
Kosten per werk (excl. Reis)	€30	€24,80

Uit deze raming blijkt dat waterkwaliteitscontrole met de BACTcontrol na werkzaamheden ongeveer net zo duur is als monsternamer en analyse op het laboratorium. Daarnaast kan het beter meten leiden tot meer afkeuringen en daarmee extra kosten met zich meebrengen om risico's te beheersen. Dat zijn echter risicosituaties die met de huidige aanpak zouden zijn gemist. De voordelen van het sneller en vaker meten worden in Hoofdstuk 5 besproken.

4 Respons na detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie

4.1 Inleiding

De inzet van automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie zal alleen tot een verlaging van het infectierisico kunnen leiden als er een effectieve responsstrategie is. In dit hoofdstuk wordt eerst de respons in de huidige situatie met monsternamen, bij reguliere monsternamen en na werkzaamheden beschreven (§4.2). Daarna worden de mogelijke situaties en respons als BACTcontrol wordt ingezet op willekeurige locaties in het distributienet tijdens operationele omstandigheden (§4.3) besproken, en als BACTcontrol wordt ingezet na werkzaamheden aan het distributienet (§4.4).

Er wordt hier specifiek uitgegaan van de BACTcontrol, als een sensor met de eigenschappen dat er iedere X uur (bijvoorbeeld iedere 3 uur) een monster wordt genomen en binnen een uur uitslag wordt gegeven of er wel of niet *E. coli* is aangetroffen. Voor de respons wordt geen onderscheid gemaakt naar de hoeveelheid *E. coli* die is gevonden bij een positief signaal.

De beschouwing in dit hoofdstuk is kwalitatief: welke respons is er mogelijk, en hoe snel. De kwantitatieve beschouwing hoe effectief de respons is, in relatie tot het verlagen van het infectierisico, wordt in het volgende hoofdstuk beschreven.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen vals positieve- en negatieve metingen en onterecht vrijgegeven of afgekeurde werken:

- Vals positief: de analyse geeft aan dat er *E. coli* in het monster aanwezig was, terwijl dit niet het geval was. Afhankelijk van het meetprincipe kan dit worden veroorzaakt door versturende stoffen, of een storing in de apparatuur. Ook een besmetting tijdens monsternamen, transport, analyse en een aflees- of rapportagefout worden hier onder geschaard.
- Vals negatief: de analyse geeft aan dat er geen *E. coli* in het monster aanwezig was, terwijl dit wel het geval was. Dit kan het gevolg zijn van versturende stoffen, een analyse-, aflees- of rapportagefout, of een storing in de apparatuur.
- Onterecht vrijgegeven: in het monster werd geen *E. coli* aangetroffen, maar het water in de leidingsectie is wel besmet. Dit kan worden veroorzaakt door 1) ongelijkmatige verspreiding van de besmetting in het water in de leidingsectie en het monster werd genomen in het (nog) niet (of niet meer) besmette deel, 2) door inactivatie van *E. coli* (door chloor) in het water of het monster, of 3) een lage mate van besmetting (<1 *E. coli* per 100 ml) waar het monster toevallig geen *E. coli* bevatte.
- Onterecht afgekeurd: afkeuring van een werk vanwege een vals positief monster.

4.2 Huidige situatie met monsternamen

Het huidige reguliere meetprogramma richt zich op het meten van indicatoren voor fecale besmettingen, namelijk *E. coli*, middels monsternamen in het distributienet onder reguliere omstandigheden, en na werkzaamheden. Reguliere monsters worden doorgaans in woningen genomen, aan de keukenkraan. Monsters na werkzaamheden worden soms via een

aanboring met een monsterkastje genomen, en soms aan de keukenkraan bij een woning op het betreffende leidingdeel. Dit is afhankelijk van het drinkwaterbedrijf en de situatie.

Door veel waterbedrijven wordt niet standaard een preventief kookadvies afgegeven, omdat het ten minste twee dagen duurt voordat het kookadvies kan worden opgeheven en hiermee wordt de klant erg belast, terwijl er maar heel zelden een besmetting wordt geconstateerd. Een kookadvies wordt hier dan ook als respons gedefinieerd, en niet als een preventieve maatregel.

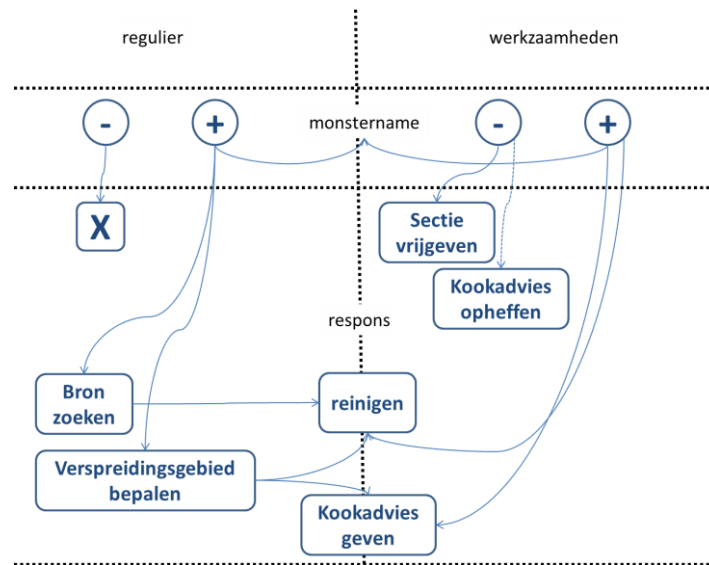
De volgende situaties kunnen zich voordoen in monsternamen en bijbehorende respons (Figuur 4-1):

- a) "monster regulier -": Er wordt **willekeurig in het net** een monster genomen en het monster is **negatief**² voor *E. coli*. Dit leidt niet tot vervolgacties.
- b) "monster werkzaamheden -": Er wordt **na werkzaamheden** een monster genomen en het monster is **negatief** voor *E. coli*. De sectie wordt vrijgegeven (afsluiters worden geopend), een eventueel preventief kookadvies wordt opgeheven.
 - o In geval het monster vals-negatief is, wordt de sectie onterecht vrijgegeven.
- c) "monster regulier +": Er wordt **willekeurig in het net** een monster genomen en het monster is **positief**³ voor *E. coli*. Een herhaalmonster wordt genomen, op dezelfde locatie en ook op enkele locaties rondom deze locatie. Bij wederom een of meer positieve monsters wordt verder bemonsterd om de bron op te sporen. Tegelijkertijd kan een kookadvies worden afgegeven aan de klanten die zich in de vermoedelijke besmette zone bevinden. Daarna kan de bron worden aangepakt, bijvoorbeeld met spuien.
 - o De kans dat zowel het eerste als het herhaalmonster vals positief zijn, lijkt heel klein, tenzij de oorzaak van het vals positief herhaalbaar is.
- d) "monster werkzaamheden +": Er wordt **na werkzaamheden** een (of meer) monsters genomen en een monster is **positief** voor *E. coli*. Een kookadvies wordt afgegeven aan de mensen in de sectie. Een herhaalmonster wordt genomen, op dezelfde locatie. Bij wederom een positief monster wordt gespuid en opnieuw bemonsterd, waarna dezelfde "loop" doorlopen kan worden (c/d). Tevens wordt een monster genomen bovenstrooms van de sectie (a/b).
 - o De kans dat zowel het eerste als het herhaalmonster vals positief zijn, lijkt heel klein, tenzij de oorzaak van het vals positief herhaalbaar is. Wanneer het eerste monster vals positief was, is er sprake van onterechte afkeur en is een kookadvies uit voorzorg gegeven.

Het vrijgeven van een sectie gebeurt na een negatieve uitslag van de monsters na werkzaamheden. Afhankelijk van wanneer het monster wordt genomen, en hoe lang de analyse duurt, kan dit twee dagen duren. In sommige gevallen kan niet worden gewacht op de uitslag van het lab, en worden alle afsluiters direct geopend. Een eventuele besmetting kan zich dan meteen ook verder verspreiden, en dit leidt tot een ca. 2 maal zo hoog infectierisico (Blokker et al. 2016). Wanneer wel gewacht kan worden tot de uitslag van het lab, en er is sprake van een vals negatieve uitslag, wordt de sectie ten onrechte vrijgegeven en kan de besmetting zich verder verspreiden. Dit gebeurt echter pas na twee dagen, en daardoor is het effect al sterk ingeperkt door eenzijdige voeding en uitspoeling van de besmetting via aansluitingen op de sectie, en zal het infectierisico slechts beperkt toenemen.

² Dit betekent dat er geen *E. coli* in het bemonsterde volume (100 ml voor reguliere monsternamen) is aangetroffen.

³ Dit betekent dat er 1 of meer *E. coli* in het bemonsterde volume is aangetroffen.



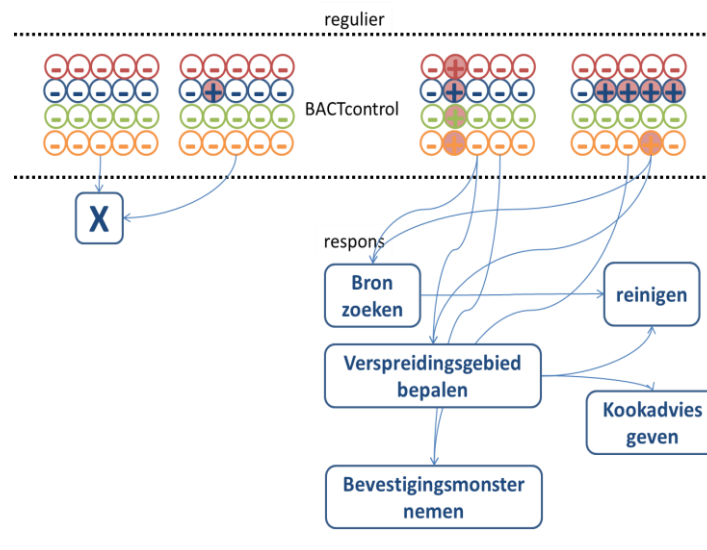
FIGUUR 4-1. MONSTERNAME EN RESPONS BIJ NEGATIEF (-) OF POSITIEF (+) RESULTAAT VOOR *E. COLI* IN DE HUIDIGE SITUATIE.

4.3 BACTcontrol in operationele omstandigheden

Er zijn verscheidene mogelijke metingen met bijbehorende respons (Figuur 4-2):

- 2) **Alle BACTcontrols hebben een negatieve waarde:** geen vervolgactie.
 - De kans dat alle metingen vals-negatief zijn is klein. Wanneer de kans op een vals negatief 0,1% is, dan is de kans op twee maal een vals negatief $(0,1\%)^2 = 0,01\%$, tenzij de kans een afhankelijkheid kent voor de twee sensoren.
- 3) **Eén van de BACTcontrols heeft één positieve waarde,** maar daarna zijn de waardes (in feite de herhaalmonsters) allemaal negatief: geen vervolgactie. Dit is vergelijkbaar met de huidige gang van zaken, waarbij geen verdere actie wordt genomen wanneer twee achtereenvolgende herhaalmonsters negatief zijn. De interpretatie van een dergelijke uitslag is niet eenduidig. Er zijn verschillende mogelijke verklaringen:
 - Het is een vals positief.
 - Het is een toevallig positief, die bij de achtergrondwaarde hoort, bijvoorbeeld een achtergrond van 0,1 per 1000 liter geeft 0,001% positieve monsters.
 - Er was een besmetting, maar van korte duur, en slechts door één sensor gedetecteerd. Onduidelijk is wat in dit geval een vervolgactie zou kunnen zijn. Het zal moeilijk zijn de bron op te sporen, en om het verspreidingsgebied te bepalen. Daarom is het onduidelijk welke mensen een kookadvies zouden moeten krijgen. Omdat de mogelijke besmetting ook maar relatief kortdurend was, is het kookadvies mogelijk mosterd na de maaltijd. Dit geldt zelfs wanneer er 1 liter voorbij kwam met 10^8 *E. coli* erin.
- 4) **Eén van de BACTcontrols heeft meerdere positieve waardes** achter elkaar (mogelijk met een negatief er tussendoor): vergelijkbare respons als wanneer een herhaalmonster in het reguliere net positief is, namelijk de bron proberen te vinden (en deze wegnemen), en het verspreidingsgebied bepalen en de mensen in dat gebied een kookadvies geven.
 - Er is waarschijnlijk wel iets aan de hand (allemaal vals positief is onwaarschijnlijk mits de sensorfouten onafhankelijke gebeurtenissen zijn)
 - Als de andere BACTcontrols een negatieve waarde hebben, is het brongebied en verspreidingsgebied relatief eenvoudig en snel te bepalen (de modelstudie kan vooraf worden gedaan), zodat een effectief kookadvies kan worden afgegeven.

- 5) **Meerdere BACTcontrols** hebben **één positieve waarde**, maar daarna zijn de waardes allemaal negatief
- Er is waarschijnlijk wel iets aan de hand (allemaal vals positief is onwaarschijnlijk),
 - Op basis van model en de sensordata kan een mogelijke bronlocatie en -tijd worden bepaald; daarmee kan ook een verspreidingsgebied worden bepaald
 - Het is mogelijk nog zinvol om een kookadvies te geven, met meerdere sensoren die een positief signaal hebben zal het verspreidingsgebied waarschijnlijk wel relatief groot zijn. Een en ander hangt af van hoe snel de modelstudie gedaan is na het positieve signaal. Een optie is om vooraf verschillende scenario's door te rekenen, zodat responsstrategieën klaar staan. Hoe meer sensoren er geplaatst worden, hoe meer scenario's gedetecteerd kunnen worden en hoe minder goed het mogelijk is om alle scenario's door te rekenen.
- 6) **Meerdere BACTcontrols** hebben **meerdere positieve waardes** achter elkaar (mogelijk met een negatief er tussendoor): respons gelijk aan die bij 4).



FIGUUR 4-2. SENSOREN EN RESPONS BIJ ALLE SENSOREN NEGATIEF (-), EEN ENKEL POSITIEF SIGNAAL (+), MEERDERE SENSOREN EEN ENKEL POSITIEF SIGNAAL, OF EEN LANGER AANHOUDEND POSITIEF SIGNAAL OP TEN MINSTE EEN SENSOR, BIJ TOEPASSING VAN BACTCONTROL IN REGULIERE OMSTANDIGHEDEN.

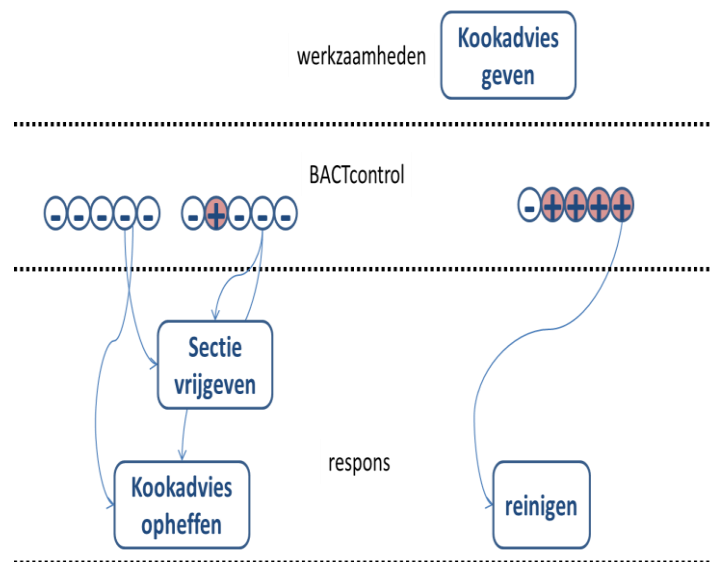
Snellere uitslag van “potentiële besmetting” en een snellere bevestiging met een herhaalmonster betekent dat sneller een uitslag van “waarschijnlijk een besmetting” (of toch/intussen “geen besmetting”) wordt bepaald. Daarmee kan ook sneller de bron worden opgespoord (en daarmee is de kans dat de bron ook daadwerkelijk wordt achterhaald ook groter) en kan het risico worden ingedamd door te spuien en kookadvies af te geven.

De effectiviteit van een kookadvies, in relatie tot het verkleinen van het infectierisico, hangt ook af van de responstijd. Die bestaat uit de tijd die het kost om 1) te bevestigen dat er een incident is (tijd voor het herhaalmonster), 2) het brongebied en verspreidingsgebied te modelleren en 3) een kookadvies af te geven. De eerste stap duurt ten minste zo lang als het wachten op een tweede positief monster (bijvoorbeeld 3 uur bij BACTcontrol), stap twee kan voorbereid worden en duurt dan mogelijk ook minstens een uur, en stap drie kan met behulp van sociale media heel snel (minder dan een kwartier).

De bijdrage van een sensornetwerk aan het verlagen van het infectierisico zal ook afhangen van de sensorlocaties. Eerder onderzoek heeft laten zien dat de detectiekans kan worden verhoogd door meer monsters te nemen en op andere (optimale) plaatsen te monteren (een online continue sensor neemt in dit opzicht op een vaste locatie veel monsters). Met behulp van optimalisatietechnieken is bepaald waar sensoren geplaatst moeten worden voor bijvoorbeeld een maximale detectiekans, een zo groot mogelijke dekkinggraad of een zo groot mogelijke kans op effectieve bronbepaling. Afhankelijk van het optimalisatiedoel komt een andere set aan optimale meetlocaties naar voren. Voor een zo groot mogelijke bijdrage van sensoren aan het beperken van het infectierisico (voor incidenten die samenhangen met de situatie van Figuur 4-2, met meer dan één positieve uitslag), is van belang dat met name die fecale verontreinigingen worden gedetecteerd die tot een groot infectierisico leiden, ofwel omdat deze verontreinigingen een grote kans van optreden hebben, ofwel omdat ze een groot effect hebben (hoge concentratie; groot verspreidingsgebied waardoor veel mensen worden blootgesteld; aanwezigheid van gevoelige klanten zoals een aansluiting voor een ziekenhuis die veel mensen van drinkwater voorziet, en dit zijn ook nog eens vaak mensen die een verzwakte afweer hebben, dus sterkere dosis-respons-relatie). Tevens is van belang dat de detectie van deze verontreinigingen ook bijdraagt aan de beperking van het risico, doordat tijdig een kookadvies kan worden afgegeven. Het is nog niet zo evident op welke criteria dan optimale locaties bepaald moeten worden en of de doelen in een realistisch leidingnet en met realistische responstijden (voor bronbepaling, bepaling verspreidingsgebied en afgeven van kookadvies) überhaupt haalbaar zijn.

4.4 BACTcontrol bij werkzaamheden

De respons is exact gelijk aan respons na monstername na werkzaamheden (Figuur 4-3). Het voordeel is dat de uitslag veel sneller bekend is, en ook de uitslag van een herhaalmonster. Het is eenvoudiger om standaard een preventief kookadvies te geven, omdat snel bekend is of deze opgeheven kan worden. Onderzocht moet worden hoe er voor gezorgd kan worden dat de opvolging van het kookadvies hoog (80%) blijft, en er geen afname optreedt als het kookadvies vaker wordt afgegeven.



FIGUUR 4-3. SENSOREN EN RESPONS BIJ ALLE SIGNALEN NEGATIEF (-), EEN ENKEL POSITIEF SIGNAAL (+), OF EEN LANGER AANHOUDEND POSITIEF SIGNAAL, BIJ TOEPASSING VAN BACTCONTROL NA WERKZAAMHEDEN.

Het vrijgeven van een sectie gebeurt na een negatieve uitslag van een (of meer) metingen met de BACTcontrol. Wanneer met BACTcontrol na het eerste negatieve resultaat de sectie wordt vrijgegeven, is de impact van een vals negatief relatief groot, namelijk een 2 maal zo groot infectierisico doordat het besmette water meer mensen kan bereiken. De kans op meerdere vals negatieven achter elkaar is mogelijk groter dan een aantal vals positieven, bijvoorbeeld wanneer de sensor kapot is. Onderzocht moet worden hoeveel negatieve uitslagen voldoende zekerheid geven om de sectie vrij te geven.

5 Baten van “automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie”

5.1 Inleiding

In §2.7 zijn de potentiële baten van automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie benoemd als een bijdrage aan het bepalen van de waarde van het infectierisico, d.w.z. het verkleinen van de onzekerheid in de huidige schatting, en in combinatie met een goede respons een bijdrage aan het verlagen van het infectierisico. De kosten en baten van nieuwe meetmethoden worden afgezet tegen die van het huidige monsterprogramma. Uit Hoofdstuk 3 bleek dat er geen directe financiële baten worden verwacht. In Hoofdstuk 4 zijn de responsstrategieën toegelicht en is kwalitatief beschreven wat de baten van BACTcontrol kunnen zijn in de respons op metingen van indicatoren van fecale verontreinigingen. In dit hoofdstuk wordt een kwantitatieve beschouwing gegeven van respectievelijk de bijdrage aan een betere schatting van het infectierisico (§ 5.2), de bijdrage aan het verlagen van het infectierisico in reguliere operationele omstandigheden (§ 5.4), de bijdrage aan het verlagen van het infectierisico na werkzaamheden (§ 5.5). Het hoofdstuk eindigt met een beschouwing van overige, operationele, baten (§ 5.6).

5.2 Verbeteren van de waterkwaliteitsbewaking

In eerder onderzoek is laten zien dat de detectiekans van een fecale besmetting na werkzaamheden ongeveer 25% is in de huidige situatie van monsternamen na 12-24 uur. Door bijvoorbeeld 1 – 4 uur na werkzaamheden een monster te nemen kan de detectiekans al worden verhoogd tot 65 – 80% (Blokker et al. 2016). In dezelfde studie is laten zien dat een groter monstervolume tot een verhoogde detectiekans leidt. Met online sensoren kan eerder en vaker een monster worden genomen, zodat een grotere detectiekans wordt bereikt.

Voor de reguliere monsternamen voor de detectie van fecale verontreinigingen in het distributienet blijkt dat de detectiekans ca. 3-5% is; en door de inzet van (semi)continue on-site meetsystemen van *E. coli* op optimale locaties in het distributienet kan de detectiekans significant worden verhoogd (tot 65%) (van Vossen-Van Den Berg et al. 2015).

Daarmee kan de waterkwaliteitsbewaking sterk worden verbeterd. Er is meer zekerheid dat getroffen maatregelen (zoals het onder druk houden van het leidingnet, de integriteit van het net, terugstroombescherming, en hygiëne tijdens werkzaamheden) voldoende zijn om de hygiënische betrouwbaarheid te waarborgen.

5.3 Verbeteren van de kwantitatieve schatting van het infectierisico

5.3.1 Bepalen van achtergrondwaarde infectierisico

Omdat het daadwerkelijke infectierisico van fecale besmettingen van het distributienet niet bekend is, is het ook niet mogelijk om precies aan te geven hoeveel metingen nodig zijn om dat infectierisico te kwantificeren. In eerder onderzoek (zie ook § 2.4) is getracht om het risico te kwantificeren aan de ene kant op basis van de huidige monsternamen en aan de andere kant via de schatting van de keten die tot besmetting leidt (kans op fecale besmetting van de sleuf, kans op niet hygiënisch werken, hoeveelheid van wat in de leiding

kan komen, de kans dat spuien niet voldoende effectief is). De schatting op basis van monsternamen blijkt een grote onzekerheid te kennen doordat er relatief weinig monsters worden genomen en er weinig positief zijn; dit kan worden verbeterd door meer monsters te nemen. De schatting op basis van de keten die tot besmetting leidt gaf nog veel meer onzekerheid, doordat de schatting van iedere schakel in de keten erg onzeker is.

Het bepalen van de absolute waarde van het infectierisico op basis van metingen kan op twee manieren benaderd worden:

1. ten eerste kan uitgaande van een verwacht infectierisico (of van het infectierisico dat aangetoond moet worden) bepaald worden hoeveel metingen daarvoor nodig zijn;
2. ten tweede kan op basis van een gekozen (bijvoorbeeld op basis van kosten) hoeveelheid metingen worden bepaald welk risico daarmee kan worden aangetoond.

Hieronder worden beide benaderingen als een voorbeeld uitgewerkt. In de volgende paragrafen wordt de tweede benadering concreter gemaakt voor reguliere metingen (§ 5.3.2) en metingen na werkzaamheden (§ 5.3.3).

Benadering 1:

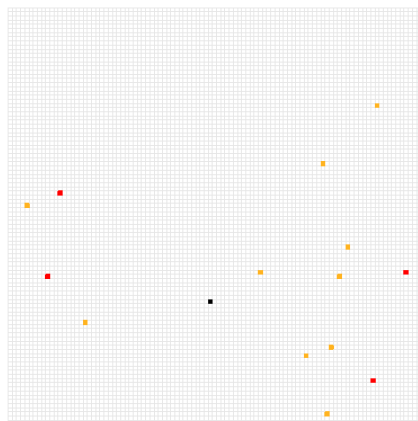
Stel dat het infectierisico gelijk is aan $1,0 \cdot 10^{-4}$ (*Campylobacter*). Met een consumptie van 113 liter ongekookt drinkwater per persoon per jaar, en een ratio tussen *E.coli* en *Campylobacter* van 100:1, betekent dat een achtergrondniveau van $8,8 \cdot 10^{-5}$ *E.coli* per liter en naar verwachting bevat in dat geval 1 op de $1,1 \cdot 10^5$ monsters van 100 ml een (of meer) *E.coli*.

In deze berekening zitten verschillende onzekerheden en onnauwkeurigheden:

1. Niet iedere Nederlander drinkt ieder jaar 113 liter ongekookt drinkwater. Voor het berekenen van het populatierisico maakt dit niet uit, omdat het over het gemiddelde gaat.
2. De dosis-respons-relatie voor *Campylobacter* is hier gelijk aan 1 verondersteld. Voor bijvoorbeeld de concentratie van 10^{-4} is de dosis-respons-relatie van RIVM die we eerder gebruikt hebben (Blokker et al. 2016) ligt het aantal te verwachten infecties tussen $3 \cdot 10^{-5}$ en $1 \cdot 10^{-4}$ (met mediaan op $6,7 \cdot 10^{-4}$). Dus de relatie van 1 is aan de hoge kant, maar niet heel ver van de waarheid af.
3. Er is geen informatie over de verhouding tussen *E.coli* en *Campylobacter*. Wanneer *Campylobacter* uit oppervlaktewater komt in plaats van uit rioolwater, zou de ratio ook 3:1 kunnen zijn, of 20:1, in plaats van 100:1. Ter illustratie maken we hier gebruik van een vaste ratio van 100:1.
4. We nemen 100 ml samples (monsternamen of BACTcontrol) en daarbij nemen we aan dat er een bepaalde kans is dat er een of meer *E.coli*'s in zitten. Hierdoor bepaalt het toeval of de *E.coli* wel of niet in een sample van 100 ml terecht komt. In de hier beschreven benadering is een Poissonverdeling meegenomen. Een Poissonverdeling wordt gehanteerd bij een homogene verdeling van lage aantallen over een ruimte, dus bijvoorbeeld wanneer een 100 ml monster wordt genomen uit een totaal watervolume van enkele kubieke meters. Dit is een goede aanname voor een monsternamen na werkzaamheden om de kans op een positief monster te bepalen. Voor een verdeling van (heel) lage aantallen over de tijd verwachten we een veel schever verdeling dan homogeen, bijvoorbeeld slechts eenmaal per jaar zit er iets in en de rest van het jaar is het '0'. In het extreme geval is er slechts in één watervolume een fecale besmetting aanwezig; in dat geval moet de kans dat dit volume bemonsterd wordt worden meegenomen, in plaats van de Poissonverdeling. In eerder onderzoek is aangetoond dat met onder reguliere omstandigheden met monsternamen een detectiekans (van een besmetting die enkele uren duurt) van 5% geldt en met online sensoren kan dit worden verhoogd tot 65% (van Vossen-Van Den

- Berg et al. 2015) en na werkzaamheden is dat respectievelijk 25% en 80 % (Blokker et al. 2016).
5. Er is een kans op vals negatieven (er is wel *E.coli* in het sample, maar dat wordt niet gemeten). Deze kans wordt als een percentage opgegeven. Omdat het aantal verwachte positieven heel laag is (1 op de $1,1 \cdot 10^5$ monsters van 100 ml bevat *E.coli*), is het aantal vals negatieven verwaarloosbaar klein.
 6. Er is een kans op vals positieven (er zat niks in het monster, maar de meting is toch positief). Dit kan gebeuren doordat ergens tussen de monsternamen en de analyse een besmetting optreedt, of door een fout in de analyse. De kans op vals positief is bij monsternamen groter dan bij de BACT control, omdat de monsternemer ergens in het proces voor een besmetting van het monster kan zorgen. Uit eerder onderzoek (Blokker et al. 2016) bleek dat regulier ca. 0,1% positieve monsters was, en bij werkzaamheden ca. 0,5%. Onder de veronderstelling dat regulier het infectierisico (achtergrond) laag is (lager dan $1 \cdot 10^{-4}$), is de 0,1% mogelijk grotendeels te wijten aan vals positieve monsters. Wanneer we aannemen dat er geen vals positieven zijn (0,0%), dan betekent de 0,1% positieven een infectierisico van ca. $1 \cdot 10^{-2}$. In de berekening wordt een vals positief van 0,1% voor monsternamen aangenomen en voor BACT control een tienmaal zo laag getal (0,01 %). Hierbij moet worden benadrukt dat we het echte percentage vals positieven niet kennen, en het dus een rekenvoorbeeld is.

Figuur 5-1 maakt duidelijk wat het verschil is tussen een verdeling van besmettingen en het effect van vals-positieven. Een volume water (dit kan een volume zijn van enkel kubieke meter in een isolatiesectie na werkzaamheden, of het totale volume dat in een voorzieningsgebied gedurende een heel jaar wordt gedistribueerd) kan onderverdeeld worden in kleinere volumes (bijvoorbeeld in monstervolumes van 100 ml). Een gegeven gemiddeld besmettingsniveau (achtergrond) kan worden veroorzaakt doordat één zo'n volume sterk vervuild is (het zwarte vlakje) of doordat verscheidene volumes één *E.coli* bevatten (rode vlakjes). Bij een meting kunnen ook nog vals-positieve uitslagen worden gevonden (oranje vlakjes). Doordat niet het gehele volume bemonsterd wordt is de kans dat toevallig het besmette (rode of zwarte) volume bemonsterd wordt een factor om rekening mee te houden.



FIGUUR 5-1. EEN VOLUME WATER ONDERVERDEELD WORDEN IN KLEINERE VOLUMES. EEN GEGEVEN GEMIDDELD BESMETTINGSNIVEAU KAN WORDEN VEROOorzaakt DOORDAT ÉÉN ZO'N VOLUME STERK VERVUID IS (HET ZWARTE VLAKJE) OF DOORDAT VERSCHIEDENE VOLUMES ÉÉN *E.COLI* BEVATTEN (RODE VLAKJES). BIJ EEN METING KUNNEN OOK NOG VALS-POSITIEVE UITSLAGEN WORDEN GEVONDEN (ORANJE VLAKJES).

Benadering 2:

Wanneer er $2,0 \cdot 10^5$ monsters (in benadering 1 kwamen we uit op $1,1 \cdot 10^5$ monsters van 100 ml) worden genomen zullen er bij de aanname van een Poissonverdeling 0 tot 7 positief zijn. Als dit 100 maal wordt herhaald wordt er 17 keer geen enkele positief monster gevonden, 31 maal 1 positief monster, zie Tabel 5-1. Wanneer we ervan uitgaan dat er slechts eenmaal een besmetting optreedt met een detectiekans van 50% dan zijn er 0 of 1 monsters positief (waarbij dat ene monster dan wel meer dan 1 *E.coli* kan bevatten), wanneer in tien jaar tien maal een gebeurtenis is die elk een 50% kans op detectie hebben is er 1% kans dat er 1 gevonden wordt, 20% kans op 4 detecties etc. (Tabel 5-1).

Wanneer 0,1% (respectievelijk 0,01 %) van de monsters vals positief is komen daar nog 200 (respectievelijk 20) positieve monsters bij. Op basis van de 200-207 (respectievelijk 20-27) positieve monsters wordt vervolgens een infectierisico geschat dat veel hoger is dan de 10^{-4} die we verondersteld hebben.

TABEL 5-1. KANS DAT EEN AANTAL POSITIEVE SAMPLES WORDT GEVONDEN IN $2,0 \cdot 10^5$ MONSTERS VAN 100 ML MET $8,8 \cdot 10^5$ *E.COLI* PER LITER, MET EEN POISSONVERDELING EN EEN EXTREME VERDELING MET 50% KANS PER GEBEURTENIS.

Aantal positieven	Kans (%)		
	Poissonverdeling	Extreme verdeling 1 gebeurtenis	Extreme verdeling 10 gebeurtenissen
0	17	50	0
1	31	50	1
2	26	0	4
3	15	0	12
4	7	0	20
5	2	0	24
6	1	0	21
7	0	0	12
8	0	0	4
9	0	0	1
10	0	0	0

Afhankelijk van het werkelijke achtergrondniveau, het aantal monsters (tapkraan of BACTcontrol) en de kans op vals positieven kan berekend worden hoeveel monsters naar verwachting tot afkeur leiden. Op basis van het aantal afgekeurde monsters wordt vervolgens het infectierisico geschat (bij een consumptie van 113 liter ongekookt drinkwater per persoon per jaar, en een ratio tussen *E.coli* en *Campylobacter* van 100:1, en een dosis-respons-relatie van 1 voor *Campylobacter*). Wanneer alleen maar 0-en worden gemeten is het infectierisico niet gelijk aan 0, de schatting van het risico wordt in dat geval gedaan op basis van 1 positief monster. In de analyse wordt vervolgens gekeken wat 1 jaar respectievelijk 10 jaar meten oplevert aan schatting van het infectierisico.

5.3.2 Onder reguliere omstandigheden

Via benadering 2 is voor reguliere omstandigheden een schatting gemaakt. In de situatie van het beschreven voorzieningsgebied in hoofdstuk 3, worden regulier 722 monsters per jaar genomen. In de kostenanalyse (§ 3.4) is uitgegaan van of 4 BACTcontrols (365 dagen x 6 metingen per dag).

In Tabel 5-2 en Tabel 5-3 zijn de geschatte risico's voor een Poissonverdeling en extreme verdeling van de *E.coli* in de tijd samengevat. Bijlage I bevat wat meer achtergrondinformatie. De schattingen op basis van Tabel 5-3 zijn vrijwel altijd hoger dan op basis van Tabel 5-2. De reden is dat in de schatting ervan wordt uitgegaan dat de metingen de gemiddelde situatie weergeven en dus eigenlijk uitgaan van de Poissonverdeling. Daarnaast is het zo dat de detectiekans van 60% wordt bereikt door de online sensor zodanig te plaatsen dat de

detectiekans zo hoog mogelijk is, dat wil zeggen dat niet het gemiddelde niveau wordt gemeten, maar een hoger niveau. Hiervoor corrigeren is lastig doordat nog onbekend is hoe vaak een fecale besmetting optreedt en dus hoe de statistische verdeling over de tijd is. In de rest van deze paragraaf becommentariëren we verder alleen de berekening met de Poissonverdeling (Tabel 5-2 en Figuur 5-2).

TABEL 5-2. AANTAL MONSTERS, AFKEUR EN GESCHAT INFECTIERISICO (ALS VEELVOUD VAN HET WERKELIJKE RISICO) OP BASIS VAN DE MONSTERNAME, BIJ VERSCHILLENDE AANTALLEN MONSTERS EN NAUWKEURIGHEID (VALS POSITIEVEN) VAN DE ANALYSE, BIJ EEN GEGEVEN ACHTERGRONDRISICO VAN 10^{-4} INFECTIES PER JAAR EN EEN VERONDERSTELLING VAN EEN POISSONVERDELING.

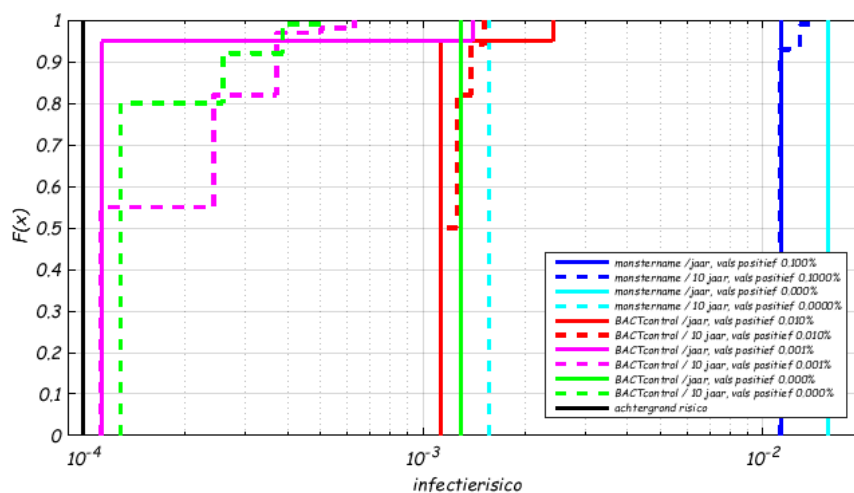
Bij achtergrond risico van $1,0 \cdot 10^{-4}$ infecties per jaar		aantal monsters	aantal afkeur	percentage afkeur	Geschat infectierisico	
					min	max
Monstername,	1 jaar	722	1	0,14 %	160	160
0,1% vals positief	10 jaar	7.220	7	0,10 %	110	160
Monstername,	1 jaar	722	0	0,00 %	160	160
0 vals positief	10 jaar	7.220	0	0,00 %	16	16
4 BACT control,	1 jaar	8.760	1	0,01 %	13	26
0,01% vals positief	10 jaar	87.600	9	0,01 %	10	16
4 BACT control,	1 jaar	8.760	0	0,00 %	13	26
0,001% vals positief	10 jaar	87.600	1	0,00 %	1	6
4 BACT control,	1 jaar	8.760	0	0,00 %	13	13
0 vals positief	10 jaar	87.600	1	0,00 %	1	5

TABEL 5-3. AANTAL MONSTERS, AFKEUR EN GESCHAT INFECTIERISICO (ALS VEELVOUD VAN HET WERKELIJKE RISICO) OP BASIS VAN DE MONSTERNAME, BIJ VERSCHILLENDE AANTALLEN MONSTERS EN NAUWKEURIGHEID (VALS POSITIEVEN) VAN DE ANALYSE, BIJ EEN GEGEVEN ACHTERGRONDRISICO VAN 10^{-4} INFECTIES PER JAAR EN EEN VERONDERSTELLING VAN EEN EXTREME VERDELING VAN EEN BESMETTING PER JAAR DIE VOORBIJ KOMT.

Bij achtergrond risico van $1,0 \cdot 10^{-4}$ infecties per jaar		aantal monsters	maximaal aantal afkeur	percentage afkeur	Geschat infectierisico	
					min	max
Monstername,	1 jaar	722	2	0,15 %	160	310
0,1% vals positief	10 jaar	7.220	9	0,10 %	110	140
Monstername,	1 jaar	722	1	0,01 %	160	160
0 vals positief	10 jaar	7.220	2	0,01 %	16	31
4 BACT control,	1 jaar	8.760	2	0,02 %	13	26
0,01% vals positief	10 jaar	87.600	16	0,02 %	16	21
4 BACT control,	1 jaar	8.760	1	0,01 %	13	13
0,001% vals positief	10 jaar	87.600	8	0,01 %	5	10
4 BACT control,	1 jaar	8.760	1	0,01 %	13	13
0 vals positief	10 jaar	87.600	8	0,01 %	5	10

Het percentage afkeur (en daarmee samenhangende schatting van het infectierisico) is vrijwel volledig te wijten aan vals positieven en afronding bij een beperkte monstername. Op basis van de huidige praktijk zou een risicoschatting een factor 160 te hoog zijn, met een jaar lang op 4 locaties meten met de BACTcontrol (met een kleiner aantal vals positieven) wordt de risicoschatting ca. een factor 13 tot 26 te hoog (maar dus wel ca. een factor 10 beter). Pas na 10 jaar meten met 4 BACTcontrols, 6 metingen per dag, zonder (of met weinig) vals positieven en vals negatieven en alleen maar negatieve monsters wordt het geschatte infectierisico in de orde grootte van $1,0 \cdot 10^{-4}$.

Een set van 722 monsters, maximaal 1 positief monster, leidt tot een laagst geschat risico van 160 maal het veronderstelde niveau van $1 \cdot 10^{-4}$, een set van 11.680 monsters, maximaal 1 positief monster, leidt tot een laagst geschat risico van $9,7 \cdot 10^{-4}$. Om een risico van $1,0 \cdot 10^{-4}$ te kunnen aantonen zijn tenminste 113.045 monsters nodig, oftewel 51 BACTcontrols die 6 metingen per dag doen, of 13 BACTcontrols die 24 metingen per dag doen, en waarbij geen (of veel minder dan $1,0 \cdot 10^{-4} - 0,01$ %) vals positieven zijn.



FIGUUR 5-2. GESCHAT INFECTIERISICO BIJ GEGEVEN ACHTERGRONDRISICO (10^{-4}) EN POISSONVERDELING, EN VERSCHILLENDE AANTALLEN MONSTERS EN MONSTERMETHODES (PERCENTAGE VALS POSITIEF). DE DOORGETROKKEN LICHTBLAUWE LIJN IS NIET TE ZIEN, OMDAT DEZE ALLEEN '0'-EN BEVAT.

Figuur 5-2 laat zien dat bij monstername met minder vals positieven (van donker- naar lichtblauw) de schatting beter wordt (meer richting de zwarte lijn die het veronderstelde achtergrondniveau weergeeft). De figuur laat ook zien dat bij een groter aantal monsters (10 maal zoveel, van doorgetrokken lijn naar stippellijn) de schatting minder spreiding laat zien, dus minder onzeker is. Dit is ook te zien als het verschil tussen de monstername en BACTcontrol met geen vals positieven (lichtblauw en groen), hoewel de logschaal enigszins vertekent.

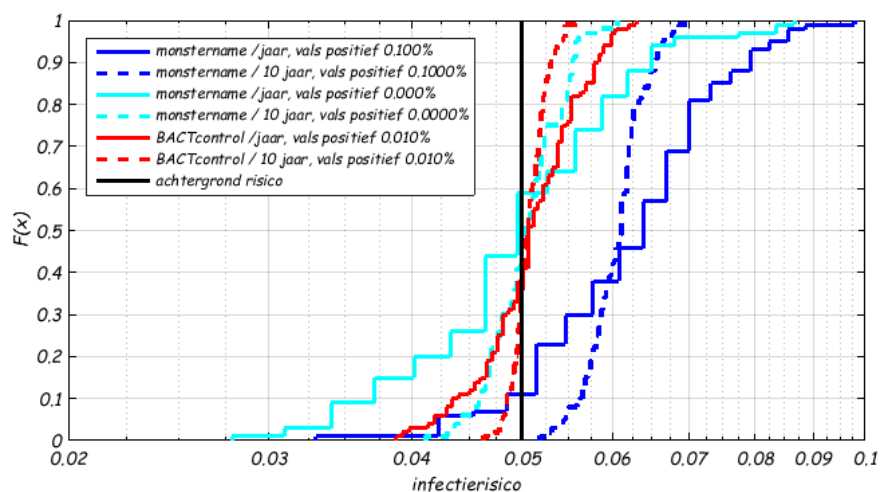
5.3.3 Bij werkzaamheden

In de kostenanalyse is voor het beschreven voorzieningsgebied in hoofdstuk 3 uitgegaan bij werkzaamheden (§ 3.5) van 3650 monsters per jaar (zonder herhaalmonsters), of meten met de BACTcontrol (3650 x 6 metingen, gedurende 24 uur laten staan). Wederom wordt er van uitgegaan dat 0.1% vals positief bij monstername en tienmaal zo laag bij de BACTcontrol. Wanneer er dan ca. 0,5 % afkeur is, betekent dat een infectierisico van ca. $5,0 \cdot 10^{-2}$ gemiddeld. Dit is dan een populatierisico, en is er geen rekening gehouden met eenzijdige voeding, kookadvies etc. zoals in het QMRA-model wel gedaan is. Een Poissonverdeling voor het aantal besmettingen bij werkzaamheden is hier eigenlijk ook geen goede aanname, maar omdat onbekend is welke verdeling wel gerechtvaardigd is wordt hier alleen een voorbeeld met de Poissonverdeling getoond.

In dit geval wordt het huidige risico ($5,0 \cdot 10^{-2}$) met de huidige monstername 50% onderschat tot 100% overschat (Tabel 5-4). Meer en / of betere metingen (minder vals positieven) dragen beperkt bij aan een betere schatting van het risico. Wel wordt de onzekerheid kleiner (Figuur 5-3).

TABEL 5-4. AANTAL MONSTERS, AFKEUR EN GESCHAT INFECTIERISICO (ALS VEELVOUD VAN HET WERKELIJKE RISICO) OP BASIS VAN DE MONSTERNAME, BIJ VERSCHILLENDE AANTALLEN MONSTERS EN NAUWKEURIGHEID (VALS POSITIEVEN) VAN DE ANALYSE, BIJ EEN GEGEVEN ACHTERGRONDRISICO VAN $5 \cdot 10^{-2}$ INFECTIES PER JAAR.

Bij risico werkzaamheden van $5,0 \cdot 10^{-2}$ infecties per jaar		aantal monsters	aantal afkeur	percentage afkeur	Geschat infectierisico	
					min	max
Monstername,	1 jaar	3.650	21	0,58 %	0,6	2,0
0,1% vals positief	10 jaar	36.500	198	0,54 %	1,0	1,4
Monstername,	1 jaar	3.650	16	0,44 %	0,6	1,7
0 vals positief	10 jaar	36.500	163	0,45 %	0,8	1,2
1 BACT control,	1 jaar	21.900	98	0,45 %	0,8	1,3
0,01% vals positief	10 jaar	219.000	981	0,45 %	0,9	1,1
1 BACT control,	1 jaar	21.900	97	0,44 %	0,8	1,2
0,001% vals positief	10 jaar	219.000	967	0,44 %	0,9	1,1
1 BACT control,	1 jaar	21.900	97	0,44 %	0,8	1,3
0 vals positief	10 jaar	219.000	972	0,44 %	0,9	1,1

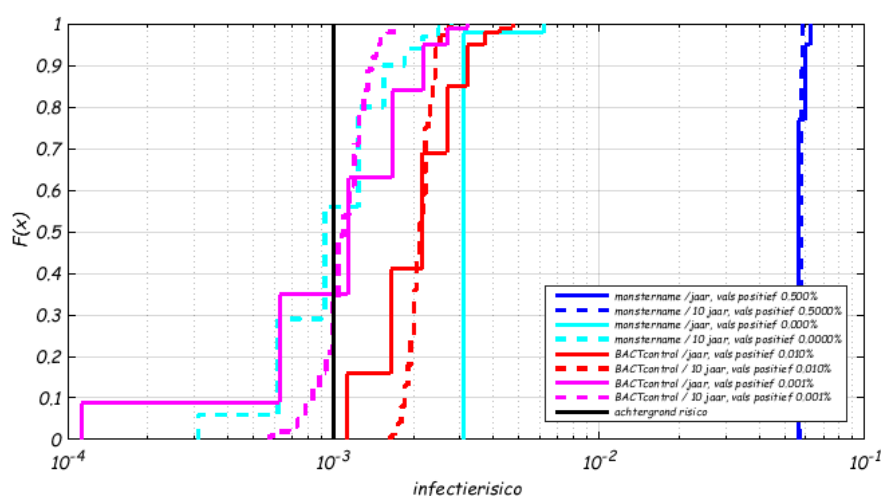


FIGUUR 5-3. GESCHAT INFECTIERISICO BIJ GEGEVEN ACHTERGRONDRISICO ($5 \cdot 10^{-2}$), EN VERSCHILLENDE AANTALLEN MONSTERS EN MONSTERMETHODES (PERCENTAGE VALS POSITIEF). DE BACTCONTROL MET EEN LAGER PERCENTAGE VALS POSITIEVEN IS NIET GETOOND, OMDAT DEZE VRIJWEL GELIJK IS MET DE GETOONDE RODE LIJNEN.

We kunnen hetzelfde berekenen met een hoger achtergrondrisico van $1,0 \cdot 10^{-3}$. Om dan ook weer op dezelfde verwachte (huidige) afkeur van 0,5 % te komen bij monstername, veronderstellen we dat onder omstandigheden van werkzaamheden het percentage vals positieven hoger is dan onder reguliere omstandigheden, nameklik 0,5 %. In dat geval is de bijdrage van BACTcontrol (die niet slechter presteert na werkzaamheden dan onder reguliere omstandigheden) ten opzichte van monstername heel duidelijk (Tabel 5-5, Figuur 5-4). Er worden veel meer (6 maal zoveel) monsters genomen en het aantal vals positieven is veel lager, bij de huidige monstername wordt het infectierisico ca. een factor 60 te hoog ingeschat en bij gebruik van de BACTcontrol is de schatting na 10 jaar meten rond de echte waarde.

TABEL 5-5. AANTAL MONSTERS, AFKEUR EN GESCHAT INFECTIERISICO (ALS VEELVOUD VAN HET WERKELIJKE RISICO) OP BASIS VAN DE MONSTERNAME, BIJ VERSCHILLENDE AANTALLEN MONSTERS EN NAUWKEURIGHEID (VALS POSITIEVEN) VAN DE ANALYSE, BIJ EEN GEGEVEN ACHTERGRONDRISICO VAN 10^{-3} INFECTIES PER JAAR.

Bij risico werkzaamheden van $1,0 \cdot 10^{-3}$ infecties per jaar		aantal monsters	aantal afkeur	percentage afkeur	Geschat infectierisico	
					min	max
Monstername,	1 jaar	3.650	18	0,49 %	55,7	65,0
0,5% vals positief	10 jaar	36.500	186	0,51 %	56,3	58,5
Monstername,	1 jaar	3.650	0	0,00 %	3,1	6,2
0 vals positief	10 jaar	36.500	3	0,01 %	0,3	2,8
1 BACT control,	1 jaar	21.900	4	0,02 %	1,0	5,2
0,01% vals positief	10 jaar	219.000	41	0,02 %	1,6	2,8
1 BACT control,	1 jaar	21.900	2	0,01 %	0,5	3,6
0,001% vals positief	10 jaar	219.000	21	0,01 %	0,6	1,8
1 BACT control,	1 jaar	21.900	2	0,01 %	0,5	2,6
0 vals positief	10 jaar	219.000	19	0,01 %	0,5	1,5



FIGUUR 5-4. GESCHAT INFECTIERISICO BIJ GEGEVEN ACHTERGRONDRISICO ($1 \cdot 10^{-3}$), EN VERSCHILLENDE AANTALLEN MONSTERS EN MONSTERMETHODES (PERCENTAGE VALS POSITIEF). DE BACTCONTROL MET EEN LAGER PERCENTAGE VALS POSITIEVEN IS NIET GETOOND, OMDAT DEZE VRIJWEL GELIJK IS MET DE GETOONDE PAARSE LIJNEN.

5.3.4 Samenvatting

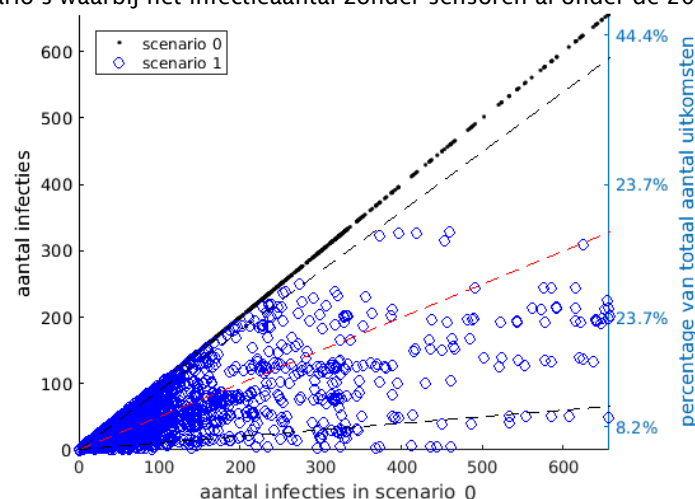
Afhankelijk van het werkelijke achtergrondniveau, het aantal monsters, en het percentage vals positieven (de nauwkeurigheid van de analysemethode) kan de inzet van de BACTcontrol bijdragen aan een nauwkeurigere schatting van het infectierisico doordat meer monsters worden genomen, en met minder vals positieven. Omdat nu niet bekend is wat het aantal vals positieven is bij de huidige meetmethode, noch bij de BACTcontrol, is de toegevoegde waarde van de BACTcontrol niet goed te kwantificeren. Een infectierisico van minder dan 10^{-4} (onder reguliere omstandigheden) vergt heel erg veel monsters en een heel laag percentage vals positieven; het lijkt onwaarschijnlijk dat de inzet van de BACTcontrol tot een nauwkeurige schatting gaat leiden. Een infectierisico van 10^{-3} (bij werkzaamheden) vergt een haalbaar aantal monsters (zeker als monsters van 10 jaar worden geanalyseerd) en een haalbaar laag percentage vals positieven; de BACTcontrol ten opzichte van de huidige monstername zal dan tot een betere schatting leiden van het risico na werkzaamheden en met een kleinere onzekerheid.

5.4 Bijdrage BACTcontrol aan verlagen infectierisico onder operationele omstandigheden

De bijdrage van sensoren aan het verlagen van het infectierisico door het afgeven van een kookadvies na ten minste twee positieve sensorsignalen en een gegeven responstijd (variërend van 3 tot 24 uur) kan worden gekwantificeerd met het eerder ontwikkelde numerieke model (Blokker et al. 2016). Door dit QMRA-model om te bouwen naar verontreinigingen willekeurig in het net én ook respons (kookadvies na bepaalde tijd, voor een bepaald deel van het net) mee te nemen, kan inzicht worden verkregen of dan wel onder welke omstandigheden van de besmetting (waar in het net, hoogte van de concentratie, duur van de verontreiniging) sensoren plus een redelijke responstijd kunnen bijdragen aan de verlaging van het infectierisico (Blokker and Laarhoven 2017). Vervolgens kan gekeken worden naar doelen en randvoorwaarden voor optimale sensorlocaties.

Met dit aangepaste QMRA-model is het infectierisico berekend van een groot aantal besmettingsscenario's (verschillende locatie, tijdstip, duur, consumptie) zonder sensoren (configuratie 0) en met sensoren die 4 uur meettijd hebben en waar een bevestigingsmeting nodig is (nogmaals 4 uur meettijd) voordat een kookadvies wordt afgegeven (1 uur respons), zie Figuur 5-5 (sensorconfiguratie 1). In de figuur zijn per besmettingsscenario de infectieaantallen bij sensorconfiguratie 0 (horizontale as) uitgezet tegen de infectieaantallen bij sensorconfiguratie 0 en 1 (verticale as, respectievelijk de zwarte x en blauwe cirkels), zodat een grafiek ontstaat waarbij op ieder punt op de x-as de infectieaantallen met en zonder sensoren in hetzelfde scenario boven elkaar staan. De stippellijnen geven respectievelijk 10%, 50% en 90% reductie in het infectieaantal aan. De percentages naast de rechter y-as geven aan welk percentage van de scenario's binnen ieder interval ligt. Op deze manier wordt een aantal dingen zichtbaar:

- Bij een klein percentage van de scenario's (8.2%) wordt het aantal infecties met meer dan een factor 10 gereduceerd, terwijl bij een groot percentage van de scenario's (44.4%) de infectieaantallen met slechts een tiende afnemen.
- Bij de ernstigste scenario's (infectieaantal > 500) worden de infectieaantallen vrijwel altijd met minstens 50% verminderd. De scenario's waarin de sensoren minimaal effect hebben (bovengenoemde 44.4%) zijn vrijwel altijd de mildere scenario's waarbij het infectieaantal zonder sensoren al onder de 200 lag.



FIGUUR 5-5. AANTAL INFECTIES PER BESMETTINGSSCENARIO IN SENSORCONFIGURATIE 0 OP DE HORIZONTALE AS VERSUS DIE IN SENSORCONFIGURATIE 0 (ZWARTE STIPPEN) EN 1 (BLAUWE CIRKELS) OP DE VERTICALE AS. DE ZWARTE STIPPELLIJNEN GEVEN DE 10% EN 90% REDUCTIE WEER, DE RODE STIPPELLIJN DE 50% REDUCTIE.

De conclusie uit deze theoretische beschouwing is dat een set van sensoren het infectierisico kan beperken. Het effect is groter wanneer de meettijd (inclusief het aantal bevestigingen) en de responstijd korter zijn. In het voorbeeldnet liep de effectiviteit op van 25% reductie tot 45% reductie. Het aantal sensoren is van belang, maar in het voorbeeldnet was de meerwaarde van een derde sensor bij de inzet van twee sensoren beperkt. De sensorlocaties hebben een effect op de grootte van de reductie. Sensoren die meer bovenstrooms geplaatst worden zullen een besmetting die een groot aantal mensen kan treffen eerder detecteren, en zal een kookadvies een groter effect hebben; daarentegen zullen sensoren op de locaties de besmettingsscenario's die benedenstrooms van de sensoren optreden niet detecteren. Een goede locatiekeuze voor sensoren is daarmee niet evident, en vóór plaatsing is de inzet van een optimalisatie-algoritme aan te raden. Wanneer meer bekend is over de aard van mogelijke besmettingen ("voorkeur" voor bepaalde locaties), kan in de locatiekeuze van sensoren daar ook rekening mee worden gehouden.

5.5 Bijdrage BACTcontrol aan verlagen infectierisico na werkzaamheden

Hoewel de huidige *E. coli* sensor (BACTcontrol) ontworpen is voor een vaste opstelling, is het mogelijk dat er op korte termijn een verplaatsbare sensor wordt ontwikkeld. Deze zou direct na werkzaamheden en spuien van het distributienet kunnen worden aangesloten als alternatief voor monsternamen na 24 uur. Voordeel is dat sneller uitslag wordt verkregen over de kwaliteit van het water zodat een kookadvies sneller kan worden gegeven of opgeheven (afhankelijk of een preventief kookadvies wordt gegeven). Bovendien wordt door vrijwel continu te meten een meer evenredig monster over de lengte van leiding genomen (water stroomt van verschillende punten in de leiding naar het monsterpunt) wat representatiever is voor de kwaliteit dan een steekmonster. Ook neemt hierdoor de pakkans toe (Blokker et al. 2016). Het standaard afgeven van een preventief kookadvies zal leiden tot een 80% reductie van het infectierisico (Blokker et al. 2016).

De financiële baten kunnen bestaan uit vermeden kosten voor kookadviezen. In het beschreven voorzieningsgebied zijn in 2015 38 kookadviezen uitgegeven, en in 2016 zijn 32 kookadviezen uitgegeven tot oktober. Het is niet bekend hoeveel kosten gemoeid zijn met een kookadvies en hoe dat samenhangt met de grootte van het betreffende gebied.

Baten zijn de betere borging van de waterkwaliteit en mogelijk een eerder signaal dat deze onvoldoende is. Ook kan dit minder overlast voor de klant betekenen door minder onnodige kookadviezen.

5.6 Samenvatting en discussie baten

Hieronder bespreken we de mogelijke baten kwalitatief, inclusief de in dit hoofdstuk gekwantificeerde baten.

Nauwkeuriger metingen: In het algemeen kan een voordeel van de BACTcontrol, ten opzichte van monsternamen, zijn dat door online op leidingen te meten de invloed van de drinkwaterinstallatie in huis en van de monsterneming op de meting uitgesloten wordt (de menselijke factor/fouten bij monsternamen, analyse en rapportage wordt uitgeschakeld) en de monstercondities beter beheerst zijn. Dit zou een effect kunnen hebben op het aantal vals positieve en negatieve uitslagen. Daarmee wordt de kans op onterechte afkeur of onterecht vrijgeven kleiner. Daar bovenop wordt de kans hierop nog verder verkleind door het grotere aantal metingen dat gedaan wordt, mits de kans op vals positieve of negatieve uitslag onafhankelijk is. Ook worden de sensoren geplaatst op slim gekozen locaties, waardoor de detectiekans nog verder toeneemt. Nauwkeurigere metingen dragen bij aan een betere risicoschatting, en een hoger veiligheidsniveau.

Betere waterkwaliteitsbewaking: De huidige waterkwaliteitsbewaking is afhankelijk van monsternamen. De monsternamen gaan uit van een beperkt aantal monsters, op min of meer willekeurige locaties. Sommige waterbedrijven hanteren voor hun reguliere monsters een vaste set van meetlocaties, andere waterbedrijven variëren de locaties willekeurig, en sommige waterbedrijven hebben een mix van de twee. Voor monsternamen na werkzaamheden worden in de hygiëncode locaties op aftakkingen en benedenstrooms van de werkzaamheden aanbevolen. Aangetoond is dat de detectiekans van een verontreiniging sterk verhoogd kan worden door meer monsters te nemen, en door op een slimme manier de juiste locaties voor monsternamen te kiezen. Vanwege de kosten zal het aantal locaties waarop een online sensor geplaatst wordt vaak beperkt zijn, maar door de (semi-) continue meting worden toch veel meer monsters genomen dan met het huidige monsternamenprogramma.

Voor de inzet van online sensoren als vervanging van de reguliere monsternamen worden er minder locaties aangedaan met de online sensor. De sensorlocatie wordt zodanig bepaald dat zoveel mogelijk mensen tijdig gewaarschuwd kunnen worden. Dit wordt bereikt door de locatie te kiezen op basis van een combinatie van een hoge kans op detectie en korte tijd tot detectie. Dit leidt tot een hoog beschermingsniveau, maar niet automatisch tot de beste waterkwaliteitsbewaking (d.w.z. tot de hoogste detectiekans). In principe wordt op een monsterpunt de 'geschiedenis' van het water tot aan het monsterpunt gemeten, oftewel het bovenstroomse deel. Bij een enkel monster betreft dit wel slechts een korte momentopname uit die geschiedenis. Bij meervoudige monsternamen wordt een meer continu historisch beeld opgebouwd zodat persistente verontreinigingsbronnen kunnen worden opgemerkt. Het huidige monsterprogramma heeft aantoonbaar een minder goede waterkwaliteitsbewaking als gevolg van de beperkte kans op detectie, zowel door het beperkte aantal monsters als door niet altijd de meest veelzeggende monsterlocaties. Een afweging kan worden gemaakt hoeveel online sensoren ingezet worden afhankelijk van de kosten en de toename in beschermingsniveau en in waterkwaliteitsbewaking.

Voor de inzet van online sensoren na werkzaamheden geldt een vergelijkbare redenering. Het aantal online sensoren (en dus monsterlocaties) zal voorlopig beperkt blijven tot één per reparatie. Wel kan worden onderzocht wat de beste locatie voor de online sensor is, en wat de meerwaarde is van monitoring op meer dan één locatie.

Betere risicoschatting: Op dit moment is de schatting van het infectierisico na distributie heel onzeker (Blokker et al. 2016). Het doen van meer metingen zorgt voor een minder onzekere schatting, en een hoger aantoonbaar veiligheidsniveau, of lager aantoonbaar risico. Een niveau van $1 \cdot 10^{-4}$ of lager is niet eenvoudig aan te tonen, gezien de kosten en mogelijke technische beperkingen. Wel kan een veel hoger niveau dan nu worden aangetoond. Ook na werkzaamheden is er een duidelijk bijdrage aan een betere risicoschatting.

De microbiologische risicoschatting van het geproduceerde water wordt ongeveer als volgt uitgevoerd: de indicatorpathogenen in het ruwe water worden gemeten en modelwaarden worden gebruikt voor de verwijdering in de verschillende zuiveringsstappen, waarmee een schatting wordt gemaakt van het risico van het drinkwater dat het leidingnet ingepompt wordt. De modelwaarden voor de verwijdering van verscheidene zuiveringsstappen zijn bepaald door metingen van indicatoren van de specifieke zuivering of een vergelijkbare zuivering. De reden dat met modelwaarden gewerkt wordt, is dat het niveau van $1 \cdot 10^{-4}$ of lager na de zuivering niet middels slechts metingen kan worden aangetoond. Dat geldt in principe ook voor het risico na distributie. Echter, het is niet eenvoudig om modelwaarden vast te stellen voor 1) de kans dat er een fecale verontreiniging in de sleuf is, 2) de kans dat deze in de leiding komt, 3) de hoeveelheid pathogenen die in de leiding komt. De volgende

stappen in het model zijn wel goed vast te stellen, namelijk 4) hoe de verontreiniging zich door het net verspreidt, 5) wat de kans is dat iemand een glas water tapt op het moment dat de besmetting langskomt, 6) hoeveel ongekookt drinkwater iemand consumeert, 7) de dosis-respons relatie, oftewel hoe groot het risico op infectie is wanneer iemand een bepaalde hoeveelheid pathogenen binnenkrijgt (Blokker et al. 2016). Onderzocht moet worden of de inzet van de BACTcontrol kan bijdragen aan het bepalen van de waardes in stap 1-3, zodat een combinatie van metingen en QMRA model van het distributienet samen leiden tot een goede risicoschatting.

Een hoger veiligheidsniveau: de inzet van online metingen zorgt ervoor dat fecale besmettingen veel vaker worden gedetecteerd. Modelberekeningen wijzen erop dat de respons van een kookadvies, gegeven een bepaalde meettijd en responstijd, voldoende tijdig kan zijn om significant bij te dragen aan het beperken van het infectierisico. Dit betekent zo'n 80% reductie bij het uitgeven van een standaard (maar kort durend) kookadvies na werkzaamheden, en (in het modelgebied) 25% reductie bij een responstijd van ca. 5-9 na eerste detectie. Het verhogen van de meetfrequentie (bijvoorbeeld 1 uur, in plaats van 4 uur) kan de reductie nog verder verhogen.

Beter imago: een kookadvies wordt wellicht vaker gegeven, maar kan koter duren, zodat de klant minder hinder ervaart en een positief en professioneel beeld van zijn waterbedrijf krijgt. Mensen hoeven niet thuis te zijn voor toegang tot de kraan voor monsternamen, waardoor er minder overlast voor de klant is. Het waterbedrijf weet veel beter wat er in het net gebeurt, en gegeven een afweging op kosten en baten, kan dan gesteld worden dat alles wat redelijk is, is gedaan om de bevolking te beschermen. Dit helpt in het voorkomen van negatieve berichtgeving in de media over het drinkwater, en draagt bij aan een modern imago.

Sensornetwerken: Het toepassen van een automatische online sensor past in de automatisering bij waterbedrijven, samen met andere sensornetwerken en dataverwerking (gekoppeld aan modellering) zodat minder handmatige interpretatie nodig is.

Milieu: Er is een positieve bijdrage aan het milieu, doordat er minder reiskilometers nodig zijn, vooral als ook andere activiteiten in het gebied afnemen.

Bovendien hoeven mensen niet thuis te zijn voor toegang tot de kraan voor monsternamen, dat maakt het voor het waterbedrijf eenvoudiger.

Robuuster leidingnet: Snellere uitslag van "geen besmetting" betekent dat na werkzaamheden een sectie sneller kan worden vrijgegeven, waardoor het leidingnet robuuster wordt voor storingen. Dit zou er toe kunnen leiden dat geplande werkzaamheden in een groter deel van het jaar kunnen worden uitgevoerd, zonder rekening te hoeven houden met allerlei potentiële abnormale situaties die de robuustheid inperken (zoals sterk verhoogde drinkwatervraag tijdens de zomer en bijbehorende lagere druk in het net).

Bronbepaling en opruimen van de verontreiniging: De inzet van BACTcontrol zou ook kunnen bijdragen aan een betere bronbepaling van een besmetting. Wanneer de gegevens van meerdere meetlocaties met elkaar gecombineerd worden, kan het brongebied worden ingekaderd (van Thienen and Vries 2013), dat is met de huidige monsternamen niet mogelijk. Hiernaar is verder geen onderzoek gedaan in het kader van dit project. Voor een pilotgebied zou een modelstudie gedaan kunnen worden. Op basis van de eis aan bronbepaling zou het optimale aantal sensoren anders kunnen zijn dan op basis van "slechts" het beperken van het infectierisico.

Wanneer duidelijk is wat de bron is van de verontreiniging kan de verdere verspreiding worden ingeperkt door afsluiters te bedienen, zodat minder mensen blootgesteld worden. Ook kan dan verdere respons (kookadvies, monsternamen in het veronderstelde besmette gebied, spuien) tot een kleiner gebied beperkt blijven, zodat het incident beter beheersbaar is, en dit brengt ook lagere kosten met zich mee. De baten (in euro's) hiervan zijn zeer specifiek voor de situatie en kunnen daarom niet worden geschat.

Spuien na werkzaamheden: Het spuien na werkzaamheden vraagt enige tijd en kan in de praktijk worden bemoeilijkt door beperkingen in de aanvoer of afvoer van spuiwater. Spuien draagt bij aan de NIRG, niet-in rekening gebracht verbruik) van het bedrijf (info van het waterbedrijf, persoonlijke communicatie najaar 2016). Het spuien is in principe een preventieve maatregel voor risicobeheersing. Bij hygiënisch goed verlopen werkzaamheden zou in theorie kunnen worden overwogen om het spuien achterwege te laten. Deze aanpak zou verder moeten worden onderbouwd, omdat een wettelijk vereiste veiligheidsbarrière (in de Hygiënecode distributie) vervalt. Dit onderzoek valt buiten het doel van de huidige studie.

6 Aanbevelingen fase 2: praktijkonderzoek

6.1 Inleiding

Verhoging van de detectiekans in combinatie met snelle detectie geeft de waterbedrijven de mogelijkheid om fecale verontreinigingen zo goed en snel mogelijk te detecteren en acties te nemen om de gezondheid van de drinkwaterconsument adequaat te beschermen. Doel van het huidige project is om te bepalen of inzet van nieuwe meetsystemen voor fecale verontreiniging de gezondheidsbescherming verder kunnen verbeteren en of de meetsystemen geschikt zijn voor toepassing in de praktijk.

Er is een aanzet gemaakt voor een zo kwantitatief mogelijke kosten-baten-analyse (KBA) van een “automatische snelle detectie van fecale verontreiniging tijdens distributie” versus het huidige monsterprogramma. Een deel van de cijfers is in fase 1 van het project verzameld, door te kijken naar huidige en verwachte kosten, theoretisch het infectierisico te beschouwen met behulp van het QMRA-model voor een modelgebied, en theoretisch de bijdrage aan een betere schatting van het infectierisico te bepalen. Het laatste punt werd bemoeilijkt door onduidelijkheid over de performance van de BACTcontrol; de tests door KWR konden nog niet worden uitgevoerd omdat er geen sensor beschikbaar was om de test op uit te voeren.

Fase 2 behelst het opdoen van praktijkervaring, zodat 1) de KBA nauwkeuriger kan worden bepaald., en/of 2) andere praktijkervaring kan worden opgedaan. Wanneer de KBA na fase 1 al als te duur uitvalt voor de baten, op basis van fase 1, kan worden besloten om fase 2 niet in te gaan.

6.2 Samenvatting kosten-batenanalyse

Een afweging tussen kosten en baten is niet puur economisch. Naast de directe financiële baten (meerkosten) spelen indirecte financiële baten door sneller en efficiënter te werken. Dit is echter erg situatie-specifiek. Daarnaast is de kwaliteit beter geborgd en is het water veiliger.

De studie heeft duidelijk gemaakt wat de kosten zijn van de inzet van de BACTcontrol en wat de kosten zijn van de huidige manier van monsternamen. De baten liggen op het vlak van de beperking van het infectierisico. Hiervoor is op basis van modelberekeningen een relatieve bijdrage bepaald. Het absolute infectierisico is laag, maar niet aantoonbaar hoe laag en of de grenswaarde wordt bereikt. Daarom is het niet mogelijk deze baten uit te drukken in euro's. Daarnaast zijn er mogelijke operationele voordelen, en positieve effecten op het imago.

- Voor de BACTcontrol als alternatief voor reguliere monsternamen geldt dat de waterkwaliteitsbewaking sterk kan worden verbeterd (detectiekans verhoogd van 5% naar 65%, dus ook hogere zekerheid dat er geen fecale besmetting is en de integriteit van het leidingnet goed is), er met beperkte meerkosten 25% reductie van het infectierisico kan worden bereikt, met twee BACTcontrols in Zandvoort, en daarbij kan het populatie-infectierisico nauwkeuriger worden bepaald.
- Bij de inzet van de BACTcontrol als alternatief voor monsternamen na werkzaamheden geldt dat met ongeveer dezelfde kosten voor de kwaliteitscontrole de waterkwaliteitsbewaking sterk kan worden verbeterd (detectiekans verhoogd van

25% naar 60 tot 80%, dus ook hogere zekerheid dat er geen fecale besmetting was en het effect van hygiënisch werken goed is), er 80% reductie van het infectierisico kan worden bereikt, en een veel snellere vrijgave van de geïsoleerde sectie mogelijk is. Bovendien kan het infectierisico ten gevolge van werkzaamheden veel beter worden ingeschat.

- Voor het schatten van het werkelijke (absolute) infectierisico kan een automatische snelle detectie van fecale verontreinigingen in het distributienet bijdragen wanneer substantieel meer metingen gedaan worden en het percentage vals-positieven laag is. Voor het schatten van het achtergrondrisico, regulier, kan met de inzet van een beperkt aantal BACTcontrols (met 0,01% vals positief) maximaal een infectierisico van $2 \cdot 10^{-3}$ worden aangetoond. De bijdrage zal groter zijn wanneer het infectierisico niet heel laag is, dat wil zeggen dat het schatten van het achtergrondrisico moeilijk zal zijn, maar na werkzaamheden (waar vaker een afwijking is te verwachten) zal een dergelijke meting zeker bij kunnen dragen aan een schatting van het risico die dicht bij het werkelijke risico ligt en minder onzekerheid kent dat middels de huidige monstername bereikt kan worden. Voor het schatten van het populatierisico na werkzaamheden kan met de inzet van een BACTcontrol (met 0,01% vals positief) maximaal een infectierisico van $5 \cdot 10^{-3}$ worden aangetoond.

6.3 Wettelijke kaders

De inzet van online monitoring ter vervanging van monstername en laboratoriumanalyse zoals beschreven in dit document is niet mogelijk binnen de huidige wettelijke kaders. Dit betreft zowel de meetprogramma's als de meetparameters (enterococci, bacteriën van de coligroep, koloniegetal 22°C, *Aeromonas*). Het drinkwaterbesluit schrijft de reguliere monstername voor en verwijst naar de Hygiëncodes voor metingen bij werkzaamheden. Bij innovaties loopt de praktijk doorgaans voor op de wetgeving; pas als in de praktijk wordt aangetoond dat een andere aanpak beter is kan de wetgever worden overtuigd. Voor de Hygiëncode geldt dat de drinkwaterbedrijven deze zelf opstellen, en dus relatief eenvoudig kunnen wijzigen. Echter ook in dat geval zal men willen aantonen dat de nieuwe aanpak in de praktijk werkt. Dit betekent dat bedrijven eerst de nieuwe aanpak naast de reguliere aanpak zullen implementeren, en dus tijdelijk extra kosten hebben en discussies moeten oplossen over hoe te handelen bij tegenstrijdige resultaten. Het feit dat er geen directe financiële baten worden verwacht, maakt het belangrijk om de indirecte financiële baten en niet-financiële baten te kwantificeren. Dit zal nodig zijn om managers en toezichthouders te overtuigen van de voordelen van een nieuwe aanpak. Deze innovatie is daarom alleen mogelijk wanneer bedrijven bereid zijn om deze te implementeren. Daarbij kunnen ook andere ontwikkelingen een rol spelen, zoals decentrale drinkwaterproductie, die alleen haalbaar is met een betrouwbare, automatische waterkwaliteitsbewaking (Roest et al. 2016).

6.4 Andere alternatieven voor de huidige E. coli monstername

6.4.1 Snelle E. coli analyse op laboratorium

Wettelijke meetparameters staan in diverse opzichten ter discussie en komen op termijn mogelijk (deels) te vervallen, los van de implementatie van automatische meetsystemen. Daarnaast zijn er ook ontwikkelingen om andere alternatieve methoden te implementeren met voordelen voor de waterkwaliteitsbeoordeling. Recent is een snelle analysemethode ontwikkeld om *E. coli* aan te tonen met behulp van PCR. Daarmee kan in circa 3 uur een uitslag worden verkregen. Deze methode wordt momenteel door een laboratorium toegepast in situaties waar grote tijdsdruk is (reparatie of renovatie). Er loopt een procedure voor wettelijke acceptatie van de methode, waarna de methode zou kunnen worden ingezet voor reguliere waterkwaliteitscontrole. Daarmee wordt de snelheidswinst van een online monitor

beperkt tot de reistijd van de monsternemer. Overige voordelen van online monitoring van *E. coli* zoals het automatisch nemen van een herhalingsmonster en het verhogen van de veiligheid blijven wel gelden.

6.4.2 Automatische analyse door monsternemer

Het is in principe mogelijk om de online monitor bij de monsternemer in de auto te plaatsen, zodat hij direct het genomen monster kan laten analyseren. Daarmee zou de reistijd geen vertraging van het analyseresultaat meer geven. Naast de beschouwde online monitor zouden hiervoor ook andere geautomatiseerde analyses in aanmerking komen. De monsternemer zou wel evenveel monitorsystemen als monsters moeten hebben, omdat deze vooralsnog maar 1 monster gelijktijdig kunnen analyseren.

6.5 Aanbevelingen

Er zijn nog vragen m.b.t. de toepassing van “automatische snelle detectie van fecale verontreinigingen in het distributienet”, die in fase 2 beantwoord zouden moeten worden:

- 1) Praktische toepasbaarheid: hierbij draait het vooral om hoe gemakkelijk het is een sensor te plaatsen, van stroom te voorzien en uit te lezen. Ook de onderhoudsfrequentie wordt pas duidelijk in de praktijk. Ook worden de kosten dan beter onderbouwd. Voor dit onderdeel zouden bij een waterbedrijf enkele BACTcontrols in het net geplaatst moeten worden.
- 2) Responsstrategie: hierbij draait het om wat een waterbedrijf doet bij positieve uitslag van een sensor. Dit kan in de praktijk getest worden bij een waterbedrijf door een “rampenoefening”.
- 3) Andere dan technische vragen: hierbij draait het erom dat er op technisch vlak geen grote belemmeringen zijn voor een pilot of zelfs grootschalige invoering van de sensoren, maar de drinkwaterbedrijven huiverig lijken te zijn voor implementatie. Bijvoorbeeld omdat de nieuwe detectiemethodes vragen om nieuwe routines binnen de bedrijven; omdat een beter inzicht in actuele risico's in principe waardevol is, maar ook verantwoordelijkheden met zich meebrengt; of omdat de nieuwe kennis niet optimaal aansluit bij bestaande regels. Tijdens de praktisch pilot (onderdeel 1) kunnen ook de niet-technische belemmeringen in kaart worden gebracht. Een beter begrip van deze belemmeringen zal behulpzaam zijn bij de verdere implementatie van deze toepassingen en ook inzicht geven in belemmeringen voor innovatie en implementatie in het algemeen.
- 4) De prestatie van de BACTcontrol (fase 1) is nog niet bepaald, dit zal in 2017 gebeuren.

Aanbeveling is om in 2017 fase 2 uit te voeren. In overeenstemming met de TG Hygiëne en Veiligheid wordt bepaald hoe de bovenstaande aspecten te onderzoeken. Bovendien zullen de resultaten van het onderzoek internationaal worden gepubliceerd.

7 Referenties

- Bartram, J. (2009). *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*, World Health Organization.
- Blokker, E. J. M. and Laarhoven, K. v. (2017). "De reductie van het infectierisico met behulp van online E.coli sensoren in het distributienet; op basis van het QMRA-model." *BTO 2017.0xx*, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M., Moerman, A. and Smeets, P. W. M. H. (2016). "QMRA van het distributienet." *BTO 2016.017*, KWR, Nieuwegein.
- Kardinaal, E., Smeets, P. and Medema, G. (2013). "Besmettingsrisico tijdens distributie." *BTO 2013.025*, KWR, Nieuwegein.
- Meerkerk, M. (2015). "Praktijkrichtlijnen drinkwater geactualiseerd." *H2O*, 48(10), 51
- Meerkerk, M. A. (2009). "De levensduur van in watermeters geïntegreerde keerkleppen." *KWR 09.038*, KWR, Nieuwegein.
- Meerkerk, M. A. (2016). "PCD 1-4 Hygienecode Drinkwater. Opslag, transport en distributie." *PCD 1-4 (2016)*, KWR, Nieuwegein
- Meerkerk, M. A. and Kroesbergen, J. (2010). "Hygienecode drinkwater; opslag transport en distributie." *BTO 2001.175 2e editie*, KWR, Nieuwegein.
- Roest, K., Smeets, P., van den Brand, T. P. H., Cortial, H. and Klaversma, E. (2016). "TKI Loop-closure Cleantech Playground. Local water and energy solutions." *KWR 2016.081*, KWR, Nieuwegein.
- Smeets, P., Heijnen, L., Kronemeijer, A. J. and Medema, G. (2015). "Verslag BTO Workshop Snelle Detectie Fecale Verontreinigingen." *BTO 2015.034*, KWR, Nieuwegein.
- van Bel, N. (2016). "Effectiviteit van spuien en chloren op de verwijdering van microbiële verontreinigingen in het distributienet - een pilotonderzoek " *BTO 2016.075*, KWR, Nieuwegein.
- van Bel, N., Hornstra, L. and Medema, G. (2016). "Slimmer Meten: effect van 12-24 uur wachttijd na spuien op microbiële verontreiniging in drinkwaterleidingen." *BTO 2016.047*, 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. and Vries, D. (2013). "Backtracing van verontreinigingen in het distributienet - Methoden en bronbepaling met stochastische watervraag." *BTO 2013.030*, KWR, Nieuwegein.
- van Vossen-Van Den Berg, J., Blokker, E. J. M. and 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.
- Versteegh, J. F. M. and Dik, H. H. J. (2015). "De staat van het drinkwater in Nederland, 2012." RIVM.
- Wetsteyn, F. J. (2005). *Inspectierichtlijn Analyse microbiologische veiligheid drinkwater*, VROM-inspectie, Haarlem. Artikelcode: 5318.

Bijlage I Uitbreiding tabel aantal afgekeurde monsters

Hieronder worden Tabel 5-2 en Tabel 5-3 met iets meer detail weergegeven. Het aantal besmette monsters en het aantal vals positieven zijn hier uit elkaar gehaald. Het percentage afkeur is gebaseerd op de verwachtingswaarde (gemiddelde van een statistische benadering) en het minimale en maximale geschatte infectierisico is bepaald door het minimaal aantal afgekeurde monsters (als dit 0 is, is 1 aangehouden) en het maximaal aantal afgekeurde monsters. Op basis van het aantal afgekeurde monsters wordt vervolgens het infectierisico geschat (bij een consumptie van 113 liter ongekookt drinkwater per persoon per jaar, en een ratio tussen *E.coli* en *Campylobacter* van 100:1, en een dosis-respons-relatie van 1 voor *Campylobacter*). In beide tabellen is aangenomen dat in de positieve monsters slechts 1 *E.coli* is aangetroffen. Het minimaal en maximaal aantal afgekeurde monsters is in de tweede tabel bepaald door alleen het aantal monsters mee te nemen dat met minstens 5% kans aangetroffen wordt.

Het aantal significante cijfers is hier soms erg hoog doordat alle berekende uitkomsten als veelvoud van het veronderstelde achtergrondrisico van $1 \cdot 10^{-4}$ is weergegeven.

Bij achtergrondrisico van $1,0 \cdot 10^{-4}$ infecties per jaar		aantal monsters	aantal besmet, Poisson	aantal vals positief	totaal aantal afkeur	% afkeur	Geschat infectierisico	
							min	max
Monstername, 0,1% vals positief	1 jaar	722	0	1	1	0,14 %	$156,4 \cdot 10^{-4}$	$156,4 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	7.220	0	7	7	0,10 %	$109,3 \cdot 10^{-4}$	$156,5 \cdot 10^{-4}$
Monstername, 0 vals positief	1 jaar	722	0	0	0	0,00 %	$156,5 \cdot 10^{-4}$	$156,5 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	7.220	0	0	0	0,00 %	$15,7 \cdot 10^{-4}$	$15,7 \cdot 10^{-4}$
4 BACT control, 0,01% vals positief	1 jaar	8.760	0	1	1	0,01 %	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$25,8 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	87.600	1	8	9	0,01 %	$10,3 \cdot 10^{-4}$	$15,5 \cdot 10^{-4}$
4 BACT control, 0,001% vals positief	1 jaar	8.760	0	0	0	0,00 %	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$25,8 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	87.600	1	0	1	0,00 %	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$
4 BACT control, 0 vals positief	1 jaar	8.760	0	0	0	0,00 %	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$12,9 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	87.600	1	0	1	0,00 %	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$

Hieronder is uitgegaan is van een detectiekans van 5% bij willekeurige monstername en van 60% kans bij slim geplaatste online sensoren.

Bij achtergrondrisico van $1,0 \cdot 10^{-4}$ infecties per jaar		aantal monsters	aantal besmet, extreem	aantal vals positief	totaal aantal afkeur	% afkeur	Geschat infectierisico	
							min	max
Monstername, 0,1% vals positief	1 jaar	722	0 (95%) 1 (5%)	1	1-2	0,15 %	$156,4 \cdot 10^{-4}$	$313,0 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	7.220	0 (60%) 1 (31%) 2 (8%) 3 (1%)	7	7-9	0,10 %	$109,5 \cdot 10^{-4}$	$140,8 \cdot 10^{-4}$
Monstername, 0 vals positief	1 jaar	722	0 (95%) 1 (5%)	0	0-1	0,01 %	$156,5 \cdot 10^{-4}$	$156,5 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	7.220	0 (60%) 1 (31%) 2 (8%) 3 (1%)	0	0-2	0,01 %	$15,7 \cdot 10^{-4}$	$31,3 \cdot 10^{-4}$
4 BACT control, 0,01% vals positief	1 jaar	8.760	0 (40%) 1 (60%)	1	1-2	0,02 %	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$25,8 \cdot 10^{-4}$
	10 jaar	87.600	2 (1%) 3 (4%) 4 (12%) 5 (20%) 6 (25%)	8	12-16	0,02 %	$15,5 \cdot 10^{-4}$	$20,6 \cdot 10^{-4}$

Bij achtergrond risico van $1,0 \cdot 10^4$ infecties per jaar		aantal monsters	aantal besmet, extreem	aantal vals positief	totaal aantal afkeur	% afkeur	Geschat infectierisico	
							min	max
4 BACT control, 0,001% vals positief	1 jaar	8.760	7 (20%)	0	0-1	0,01 %	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$12,9 \cdot 10^{-4}$
			8 (12%)					
			9 (4%)					
			10 (1%)					
			0 (40%)					
			1 (60%)					
			2 (1%)					
			3 (4%)					
			4 (12%)					
			5 (20%)					
4 BACT control, 0 vals positief	10 jaar	87.600	6 (25%)	0	4-8	0,01 %	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$10,3 \cdot 10^{-4}$
			7 (20%)					
			8 (12%)					
			9 (4%)					
			10 (1%)					
			0 (40%)					
			1 (60%)					
			2 (1%)					
			3 (4%)					
			4 (12%)					
4 BACT control, 0 vals positief	1 jaar	8.760	5 (20%)	0	0-1	0,01 %	$12,9 \cdot 10^{-4}$	$12,9 \cdot 10^{-4}$
			6 (25%)					
			7 (20%)					
			8 (12%)					
			9 (4%)					
			10 (1%)					
			0 (40%)					
			1 (60%)					
			2 (1%)					
			3 (4%)					
4 BACT control, 0 vals positief	10 jaar	87.600	4 (12%)	0	4-8	0,01 %	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$10,3 \cdot 10^{-4}$
			5 (20%)					
			6 (25%)					
			7 (20%)					
			8 (12%)					
			9 (4%)					
			10 (1%)					
			0 (40%)					
			1 (60%)					
			2 (1%)					