

BTO 2016.048 | Juli 2016

BTO rapport

**Kostenefficiënte
toepassing van
sensoren voor
meerdere doelen
in het drinkwater-
distributiesysteem**

BTO

Kostenefficiënte toepassing van sensoren voor meerdere doelen in het drinkwaterdistributiesysteem

BTO 2016.048 | juli 2016

Opdrachtnummer

400554

Projectmanager

Dr. Stefan (S.A.E.) Kools

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Nieuwe meetmethoden
en sensoring

Kwaliteitsborger(s)

Dr. Mirjam (E. J. M.) Blokker

Auteur(s)

dr. Joost (J.R.G.) van Summeren, dr. Peter (P.) van
Thienen, dr. ir. Dirk (D.) Vries, Ina Vertommen MSc, ir.
Martin (M.) Korevaar MSc, Stijn (S.) Brouwer MA MSc
PhD

Projectbegeleiding

Alex van der Helm (Waternet), Wouter Huisman
(Brabant Water), Peter van der Maas (WLN), Maurice
van de Roer (Dunea), Peter Schaap (PWN), Marije
Ijszenga (Vitens)

Verzonden aan

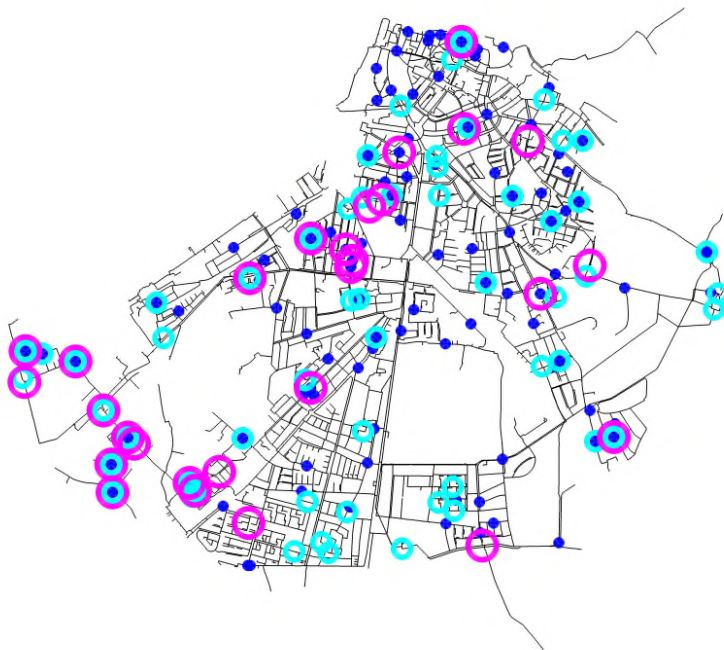
Dit rapport is opgesteld voor BTO participanten.

BTO Managementsamenvatting

Betere balans tussen kosten en baten door inzet van sensoren voor meerdere doelen

Auteur(s) dr. Joost (J.R.G.) van Summeren, dr. Peter (P.) van Thienen, dr. ir. Dirk (D.) Vries, Ina Vertommen MSc, Martin Korevaar MSc, Stijn (S.) Brouwer MA MSc PhD.

Netwerken van waterkwaliteitssensoren kunnen de monitoring van het distributienet verbeteren. Omdat sensornetwerken nog niet breed worden toegepast, zijn er nog veel onzekerheden over de kosten en opbrengsten van sensornetwerken. Om te onderzoeken of het gunstiger is sensornetwerken in te zetten die gelijktijdig meerdere doelen dienen, zijn drie mogelijke doelstellingen uitgewerkt die verschillende hiërarchische niveaus in de bedrijfsvoering weerspiegelen: versterken van klantvertrouwen (strategisch niveau), systeemkennis van het distributiesysteem (tactisch) en bescherming van de klant met waterkwaliteitsbewaking (operationeel). De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat het meervoudig inzetten van sensornetwerken een reëel perspectief biedt op het verhogen van opbrengsten ten opzichte van de kosten. Het onderzoek biedt handvatten voor het realiseren van (een business case voor) meervoudige toepassing van sensornetwerken.



Leidingnet van Nijmegen met netwerken met 40 (paarse cirkels), 80 (lichtblauwe cirkels) en 160 (donkerblauwe punten) waterkwaliteitssensoren, geoptimaliseerd voor een zo groot mogelijke detectiekans van mogelijke waterkwaliteitsverontreinigingen.

Belang: meer rendement uit investeringen in sensornetwerken voor waterkwaliteitsbewaking

Innovaties in sensortechnologie vergroten de mogelijkheden voor drinkwaterbedrijven om bestaande monitoringprogramma's te complementeren door netwerken met (real-time) sensoren te installeren en daarmee de kwaliteit van het water en de leveringszekerheid in het distributienet te bewaken. Voor onderbouwde beslissingen over installatie en inrichting van sensornetwerken is inzicht in te verwachten kosten en opbrengsten nodig, maar er is nog te weinig praktijkervaring om bestaande onzekerheden weg te nemen. Een sensornetwerk dat gelijktijdig meerdere doelstellingen dient kan in principe een grotere opbrengst leveren dan netwerken die zijn ingericht voor één doel. Dit kan een sensornetwerk rendabeler maken en mogelijk de drempel verlagen voor investeringen in een (meervoudig toepasbaar) sensornetwerk.

Aanpak: mogelijke opbrengsten voor 3 doelstellingen onderzocht

Om opbrengsten en investeringen van meervoudig toepasbare sensornetwerken te onderzoeken zijn drie doelstellingen uitgewerkt die verschillende hiërarchische niveaus in de bedrijfsvoering weerspiegelen: versterken van klantvertrouwen (strategisch niveau), kennis van het distributiesysteem (tactisch) en inzicht in de waterkwaliteit ten behoeve van klantbescherming (operationeel). De mate waarin en de manieren waarop deze doelstellingen in één enkel sensornetwerk zijn te verenigen zijn beschouwd in een synthese van de deelonderzoeken. Ook is de basis gelegd voor een business case voor sensornetwerken met meervoudige doelstellingen.

Resultaten: kosten-batenanalyse op strategisch, tactisch en operationeel niveau

Waterbedrijven blijken heel verschillend aan te kijken tegen de potentiële invloed van sensornetwerken op klantvertrouwen en media-aandacht (strategisch niveau). Opbrengsten op dit niveau kwantificeren is ingewikkeld omdat 'vertrouwen' sterk subjectief en gevoelsmatig is.

Voor de doelstelling op tactisch niveau is onderzocht hoe sensornetwerken kunnen worden ingezet voor het vergroten van kennis over het distributiesysteem. Een diversiteit aan sensoren zal naar verwachting de opbrengst vergroten. Het onderzoek toont dat er perspectief is om met een sensornetwerk de systeemkennis (over bijvoorbeeld afsluiterstanden of volumestromen) te vergroten en in te zetten voor financieel of operationeel interessante doeleinden, zoals het beperken van lekverlies of snelle afsluiting van secties.

Op operationeel niveau is inzichtelijk gemaakt hoe voor een concreet leidingnetwerk kan worden vastgesteld wat de kosten en detectiekans kunnen zijn van een sensornetwerk dat waterkwaliteitsafwijkingen detecteert om de klant te beschermen.

Een beschouwing laat zien dat het mogelijk lijkt verschillende combinaties van twee of zelfs drie van de doelstellingen met één sensornetwerk te bereiken.

Implementatie: vervolgstappen voor toepassing in de praktijk

Dit project heeft aangetoond dat meervoudige toepassing van sensornetwerken perspectief biedt voor een meer kostenefficiënte toepassing van sensornetwerken. De methodiek beschreven in dit rapport biedt handvatten voor het realiseren van dit perspectief. Voor twee van de drie beschouwde doelstellingen is voor een proefnetwerk een relatie tussen kosten en meetopbrengsten beschikbaar, waarop een business case kan worden gebaseerd. Om een volledige business case te kunnen uitwerken moet eerst een aantal openstaande vragen worden beantwoord, bijvoorbeeld over de effecten op klantbeleving en hoe effecten in geld uit te drukken zijn. Ook is het nodig de methodiek voor doelstelling 2 waarvoor in dit rapport de basis is gelegd verder te ontwikkelen.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Kostenefficiënte toepassing van sensoren voor meerdere doelen in het drinkwaterdistributiesysteem* (BTO-2016.048).

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 3 |
| 1.1 | Motivatie onderzoek | 3 |
| 1.2 | Doelstelling | 3 |
| 1.3 | Aanpak op hoofdlijnen | 4 |
| 1.4 | Projectgroep en samenwerking | 4 |
| 1.5 | Workshop Implementatievisie(s) sensing | 5 |
| 1.6 | Succesfactoren voor netwerken van waterkwaliteitssensoren | 6 |
| 2 | Doelstelling 1: Versterken van klantvertrouwen | 8 |
| 2.1 | Aanleiding | 8 |
| 2.2 | Enquête invloed sensornetwerk op klantvertrouwen | 8 |
| 2.3 | Frequenties incidenten | 8 |
| 2.4 | Effect op vertrouwen van klanten | 9 |
| 2.5 | Effect op media-aandacht | 10 |
| 2.6 | Reductie van risicokosten | 10 |
| 2.7 | Opbrengst-investeringsrelaties | 10 |
| 2.8 | Samenvattend | 11 |
| 2.9 | Aanbevelingen voor vervolgonderzoek | 11 |
| 3 | Doelstelling 2: Vergroten van systeemkennis | 12 |
| 3.1 | Achtergrond en motivatie | 12 |
| 3.2 | Aanpak | 13 |
| 3.3 | Literatuurscan: probleembeschrijving & oplossingsrichting | 13 |
| 3.4 | Selectie van methodiek en kennisvragen | 15 |
| 3.5 | Systeemdefinitie en (uitwerking van) methodiek | 16 |
| 3.6 | Vervolgstappen en perspectief | 17 |
| 4 | Doelstelling 3 – Kennis van de waterkwaliteit | 19 |
| 4.1 | Aanleiding | 19 |
| 4.2 | Methode | 19 |
| 4.3 | Kostenmodel voor algemene waterkwaliteitssensoren | 20 |
| 4.4 | Prestatie-kostenrelatie geoptimaliseerd sensornetwerk | 21 |
| 4.5 | Samenvattend | 24 |
| 5 | Synthese | 25 |
| 5.1 | Meervoudige toepassing als succesfactor | 25 |
| 5.2 | Samenstelling van sensornetwerk | 25 |
| 5.3 | Kosten en opbrengsten | 26 |
| 5.4 | Compatibiliteit en haalbaarheid | 28 |
| 5.5 | Perspectief en openstaande vragen | 28 |
| 6 | Conclusies en aanbevelingen | 30 |
| 6.1 | Algemene conclusies | 30 |
| 6.2 | Aanbevelingen voor vervolgonderzoek | 30 |
| 7 | Literatuur | 41 |

1 Inleiding

1.1 Motivatie onderzoek

Het continu leveren van schoon en veilig drinkwater aan de klant is het centrale doel van de Nederlandse drinkwaterbedrijven. Het monitoren van de waterkwaliteit van bron tot tap is daarbij van groot belang. Tijdens het transport van water door het leidingnet kan de waterkwaliteit afnemen als gevolg van fysische, chemische en/of microbiologische processen. Potentieel kan dit resulteren in esthetische of microbiologische problemen, klantmeldingen en risico's voor de volksgezondheid. Problemen worden veelal voorkomen door de juiste maatregelen te treffen in zuivering en distributie van het water, wat in Nederland tot een uitstekende drinkwatervoorziening leidt. Op dit moment wordt de waterkwaliteit in het distributienet veelal beoordeeld middels monsternamen en analyse in het lab. Dit levert echter maar een beperkt ruimtelijk inzicht in de drinkwaterkwaliteit en heeft als nadeel dat een waterkwaliteitsafwijking soms pas na dagen wordt geïdentificeerd.

Innovaties in sensortechnologie vergroten de mogelijkheden voor drinkwaterbedrijven om monitoring met de huidige waterkwaliteitsmonitoringprogramma's te complementeren met netwerken van (real-time) waterkwaliteitssensoren. Hiermee gaat online zicht op de waterkwaliteit in een groter deel van het distributienet tot de mogelijkheden behoren. Implementatie en gebruik van een sensornetwerk brengt financiële, technische en organisatorische investeringen met zich mee, op het gebied van ICT, data-management en sensorinstallatie en -onderhoud. Bij het beslissen over installatie en inrichting van een sensornetwerk, is het daarom belangrijk dat een waterbedrijf de doelstellingen ervan bepaalt en de (financiële of strategische) meerwaarde ten opzichte van huidige methoden evalueert.

Hoewel enkele Nederlandse waterbedrijven inmiddels experimenteren met online sensornetwerken (De Graaf, 2012) zijn er op dit moment nog weinig praktijkervaringen om onzekerheden over investeringen en opbrengsten weg te nemen. Om inzicht te krijgen in netwerkprestaties wordt steeds vaker numerieke modellering ingezet om sensornetwerkconfiguraties te optimaliseren voor één of meerdere doelstellingen, zoals gerealiseerde dekkinggraad, detectiekans of bronbepaling van een incident (Ostfeld, 2008; Preis, 2008), (Berry, 2009), (P. Van Thienen, 2014) om er slechts een paar te noemen). Combinatie met een kostenmodel voor sensornetwerken maakt het mogelijk om prestatie-investeringsrelaties op te stellen (P. Van Thienen, 2014; P. Van Thienen, De Graaf, B., Van de Roer, M., Schaap, P., Sperber, V., 2014), (Van Summeren, 2016).

Een sensornetwerk dat gelijktijdig meerdere doelstellingen kan realiseren kan in principe een grotere opbrengst leveren dan netwerken ingericht voor een enkelvoudige doelstelling (Kroll, 2010). Detectie van sporadisch voorkomende ernstige waterkwaliteitsincidenten kan bijvoorbeeld worden gecombineerd met het verkrijgen van nuttige informatie voor dagelijks gebruik (bijvoorbeeld om klanten beter te informeren of distributieprocessen te verbeteren). Het gelijktijdig leveren van meerdere opbrengsten kan een sensornetwerk rendabeler maken en mogelijk de drempel verlagen om over te gaan tot investeringen in een sensornetwerk.

1.2 Doelstelling

Hoofddoel van het voorliggende onderzoek is om met een businesscasebenadering naar een onderbouwde investeringsbasis voor de waterbedrijven toe te werken. De beoogde opbrengsten op hoofdlijnen zijn:

- Inzicht in de benodigde investeringen in een netwerk van sensoren (hoeveel sensoren van welk type op welke locaties) om opbrengsten op strategisch, tactisch en operationeel niveau te realiseren
- Inzicht in organisatorische consequenties (databronnen, expertise, hulpbronnen)
- Informatie waarmee waterbedrijven een beslissingskader kunnen vormen. (Wat is mogelijk binnen gestelde financiële en organisatorische randvoorwaarden)

1.3 Aanpak op hoofdlijnen

Om bovenstaande doelen te bereiken is de volgende benadering gevolgd

- *Aanzet tot een (gezamenlijke) bedrijfsvisie op sensing van waterkwaliteit.* KWR heeft een workshop georganiseerd met als doel inzicht te krijgen in de implementatievisies van de drinkwaterbedrijven op het gebied van sensing van het leidingnet (§1.5, Bijlage I).
- *Benadering voor het uitwerken van doelstellingen voor een netwerk van waterkwaliteitssensoren met meervoudige doelstellingen en opbrengsten.* In overleg met leden van de projectgroep zijn de belangrijkste motivaties voor mogelijke investeringen in een sensornetwerk van verschillende drinkwaterbedrijven geïnventariseerd. Op basis hiervan zijn drie doelstellingen geselecteerd, die verschillende hiërarchische niveaus in de bedrijfsvoering weerspiegelen:
 - i. Behoud van klantvertrouwen (strategisch niveau),
 - ii. Kennis van het distributiesysteem (tactisch) en
 - iii. Bescherming van de klant met waterkwaliteitsbewaking (operationeel).
- *Uitwerking deelonderzoeken met betrekking tot doelstellingen van sensornetwerk.* De 3 doelstellingen zijn afzonderlijk uitgewerkt (Hoofdstukken 2, 3 en 4). Daarbij is getracht zowel de kosten en opbrengsten te kwantificeren, waarbij telkens een andere benadering en mate van concreetheid is gebruikt, passend bij de doelstelling:
 - Strategisch: vergelijken van scenario's met en zonder sensornetwerk in het geval van waterkwaliteitsincidenten, inclusief consequenties voor klantvertrouwen.
 - Tactisch: onderzoeken van mogelijkheden om meerwaarde te creëren door vergroten van de systeemkennis middels verkenning van de causaliteit in een sensornetwerk met graaf-theoretische concepten.
 - Operationeel: Kwantificeren van de kosten en meetopbrengst van een netwerk van sensoren, geoptimaliseerd voor de detecteren van waterkwaliteitsverontreinigingen en de vertaling naar een opbrengst in termen van bedrijfsvoering en uiteindelijk euro's.
- De meerwaarde en investeringen zijn deels kwalitatief (bv. maatschappelijke waarde, strategische meerwaarde, mindset bedrijf) en deels kwantitatief (herkennen van een verontreiniging, investeringen in sensoren, etc.) van aard.
- *Synthese.* De verschillende aspecten van de sensoringsstrategie zijn uitgewerkt in een synthese (Hoofdstuk 5), waarbij de (strategische) meerwaarde en investeringen zijn beschouwd. In een businesscasebenadering is toegewerkt naar een onderbouwde investeringsbasis voor de waterbedrijven. Daarbij was het doel:
 - Inzicht in de benodigde investeringen in een netwerk van sensoren (hoeveel sensoren van welk type op welke locaties) om bepaalde opbrengsten op strategisch, tactisch en operationeel niveau te realiseren
 - Inzicht in organisatorische consequenties (databronnen, expertise, hulpbronnen)
 - Informatie waarmee waterbedrijven een beslissingskader kunnen vormen. (Wat is mogelijk binnen gestelde financiële en organisatorische randvoorwaarden)
- 1. De resultaten van de synthese vormen de basis om met een evaluatie van prestaties en investeringen, ontwerpscenario's op te stellen voor sensornetwerken die gelijktijdig meerdere doelen dienen. In een later stadium kan zo worden toegewerkt naar een business case voor een concreet leidingnetwerk uit de Nederlandse drinkwaterpraktijk.

1.4 Projectgroep en samenwerking

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met de volgende projectgroep

- Alex van der Helm (Waternet)
- Wouter Huisman (Brabant Water, taken overgenomen van Veerle Sperber)
- Peter van den Maas (WLN, vertegenwoordigt WBG en WMD)
- Maurice van der Roer (Dunea)
- Peter Schaap (PWN)
- Marije Ijszenga (Vitens)

De projectgroep heeft een belangrijke rol gespeeld in de bepaling van de richting van het onderzoek. Hoewel het hoofddoel gelijk is gebleven is in overleg besloten af te wijken van het oorspronkelijke projectplan, omdat de nieuwe invulling beter aansloot bij de belevingswereld van de bedrijven. Naast de leden van de projectgroep hebben Richard Peerboom namens WML en Jan Bahlman namens Evides gereageerd op een door KWR opgestelde enquête (Bijlage II). Het project heeft geprofiteerd van synergie-voordelen met het TKI onderzoek INTEREST (Van Summeren, 2016).

Op hoofdlijnen zijn de bijdragen van KWR-medewerkers als volgt: Ideeënontwikkeling en richting van het project zijn vormgegeven door Joost van Summeren, Peter van Thienen en Dirk Vries. Het onderzoek voor doelstelling 1 is hoofdzakelijk uitgevoerd door Ina Vertommen en Joost van Summeren, voor doelstelling 2 door Dirk Vries en Martin Korevaar en doelstelling 3 door Joost van Summeren. Het rapport is geschreven door Joost van Summeren met medewerking van Peter van Thienen (Synthese en herzien van een conceptversie van het rapport), Dirk Vries (Hoofdstuk 3) en Stijn Brouwer (aanbeveling in §2.9).

1.5 Workshop Implementatievisie(s) sensing

Om het onderzoek in te kaderen is op 1 april 2015 door KWR een workshop “Implementatievisie(s) Sensoring” georganiseerd. Het doel was om inzicht te krijgen in implementatievisies van de Nederlandse drinkwaterbedrijven en in deze paragraaf worden de hoofdconclusies besproken. Het volledige verslag van deze workshop is te lezen in Bijlage I. Er namen vier drinkwaterbedrijven (PWN, Dunea, Waternet, Brabant Water) en drie waterlaboratoria (WLN, HWL, Aqualab Zuid) deel aan de workshop. Tijdens de workshop is getracht om de gezamenlijke bedrijfsvisies te vertalen naar concretere bedrijfsdoelen en de mogelijke meerwaarde van sensing binnen deze doelen. Daarbij stonden drie onderwerpen centraal:

- I. bedrijfsvisies,
- II. toekomstscenario's concretiseren om doelen binnen de visies vast te stellen en
- III. de mogelijke meerwaarde van sensing voor deze doelen.

De voornaamste bevindingen zijn als volgt samengevat:

- Voor het bedenken en realiseren van implementatievisies voor sensing dienen waterbedrijven en laboratoria hun doelstellingen te concretiseren en waar mogelijk te kwantificeren. Er is gesteld dat waterbedrijven op dit moment visies en strategische doelen misschien niet voldoende concreet en kwantitatief gedefinieerd hebben. Hierdoor is het moeilijk om een richting uit te stippelen voor nieuwe ontwikkelingen, het opzetten van business-cases, en het effectief tegen elkaar kunnen afzetten van verschillende bedrijfsdoelen om tot een goede combinaties van acties te komen die op een ideale manier de verschillende doelen verwezenlijken.
- Parallel hieraan geven waterbedrijven en laboratoria aan dat er ruimte voor KWR is hen proactief te voorzien van advies over (on)mogelijkheden van sensing; KWR kan het opstellen van doelen inhoudelijk ondersteunen door mogelijke toekomst te schetsen, kritische overzichten van technologische en modelmatige mogelijkheden aan te reiken en hierin kennisgedreven keuzes voor te stellen aan de waterbedrijven.
- KWR beoogt aldus een proactieve(re) rol te spelen, enerzijds m.b.t. het ‘prikkel(en)’ van drinkwaterbedrijven en laboratoria om te komen tot concretere doelstellingen en anderzijds mb.t. het presenteren en aantonen van mogelijkheden van (diverse typen) sensing en randvoorwaarden voor implementatie hiervan.

De deelnemers hebben de algemene langetermijnvisie van de waterbedrijven gepresenteerd. Bij de motivaties van de bedrijven worden naast een optimale voorziening van schoon en veilig drinkwater ook klantvertrouwen en informatievoorziening herhaaldelijk genoemd:

- PWN: Handhaven van de dienstverlening in de toekomst, consumentenvertrouwen
- BW: Beter te doen voor de klant: operational excellence, onberispelijk water
- Dunea: Klantvertrouwen en meer inzicht in en voor klanten: risico's en bedrijfsvoering
- Waternet: Samen vernieuwen, verduurzamen/circulair handelen, participatiemaatschappij, ICT, informatie als vierde productiefactor

Informatievoorziening is van belang omdat klanttevredenheid mogelijk met klantbetrokkenheid correleert. Over het algemeen lijkt de conclusie dat de sector transparanter mag zijn over het drinkwaterproces.

Om na te gaan wat sensing in de toekomst zou kunnen betekenen in de drinkwatersector zijn de voor- en nadelen, kansen en risico's van sensing geïnterpreteerd. Voordelen en kansen die zijn genoemd zijn:

- Snel (real-time) veel data en inzicht in processen en 'verstoringen' van normale operatie.
- Meer mogelijkheden om problemen op te lossen en pro-actiever/gericht nadenken en ingrijpen (kortere responstijd)
- Betere/snellere informatievoorziening aan de klant
- Veiliger drinkwater voor de klant
- Mogelijke kostenbesparing

Genoemde mogelijke nadelen en risico's zijn o.a.:

- Overkill aan data / benodigde tools voor data-analyse
- Té blind varen op sensorinformatie (ten koste van een brede kijk)
- Tegenstrijdige gegevens
- Meer assets om te onderhouden en beheren
- Kosten

De deelnemers hebben namens hun organisatie invulling gegeven aan de potentiële meerwaarde van sensing binnen hun gestelde doelen, de bijbehorende tijdshorizon en de kennisvragen die hier mogelijk uit voort vloeien. Concrete voorbeelden uit deze individuele inventarisaties zijn:

- Klantinzicht en -vertrouwen verhogen:
 - Informatievoorziening naar de klant in brede zin
 - Risico volksgezondheid kennen en delen
 - Bevolking geruststellen over de waterkwaliteit (bijv. bij terroristische dreiging)
- Optimale / efficiëntere processen:
 - Optimale monitoring
 - Kostenefficiëntie vs. veiligheid
 - Ondersteuning voor het aantonen dat bedrijfsprocessen stabiel zijn
 - Voorspellend vermogen

Het is duidelijk dat er meerdere redenen zijn om in een sensornetwerk te investeren, maar dat er ook nadelen aan zijn verbonden, waaronder de kosten. De deze paragraaf behandelt eerder onderzoek. Hierin wordt gesteld dat één van de succesfactoren voor sensornetwerken het gelijktijdig leveren van nuttige informatie voor meerdere doeleinden is.

1.6 Succesfactoren voor netwerken van waterkwaliteitssensoren

Uit de workshop blijkt dat er meerdere redenen voor bedrijven zijn om in een sensornetwerk te investeren, maar dat er ook nadelen aan zijn verbonden, waaronder investeringen. Deze paragraaf behandelt eerder onderzoek waarin wordt gesteld dat één van de succesfactoren voor sensornetwerken het gelijktijdig leveren van nuttige informatie voor meerdere doeleinden is.

TABEL 1: SUCCESCRITERIA VOOR SENSORSYSTEMEN IN DISTRIBUTIENETWERKEN VOLGENS KROLL EN KING (2010).

| | | |
|--|--|--|
| 1. Toegevoegde waarde op twee fronten | | |
| 2. Vereisten voor gewenste detectieklasse | | Van de derde naar de eerste klasse nemen in de regel de kosten toe en de reactietijd af. |
| 3. Dekkings- karakteristieken | <i>Kosten</i> <i>Beschermingsgebied</i> <i>Communicatie</i> | onvolledige dekking door budgettaire beperkingen onvolledige bescherming t.g.v. hydraulica en logistiek betrouwbare informatieoverdracht van meetpunten richting controlecentrum |
| 4. Operationele karakteristieken | <i>Gebruiksgemak</i> <i>Mate van automatisering</i> <i>Continuïteit van werking</i> <i>Betrouwbaarheid</i> <i>Kosteneffectiviteit</i> | goed bruikbaar voor operationeel personeel in crisissituaties Menselijk ingrijpen is alleen wenselijk ten behoeve van onderhoud en reparatie. geen onderbrekingen waar besmettingen doorheen kunnen glippen kosten vergelijkbaar of minder dan die van het reguliere monsterprogramma. |
| 5. Prestatie- karakteristieken | <i>Breed spectrum</i> <i>Snelle reactietijd</i> <i>Specificiteit</i> <i>Reproduceerbaarheid</i> <i>Weinig fout-positieven en fout-negatieven</i> <i>Kwalitatieve indicatie</i> <i>Kwantitatieve indicatie</i> <i>Gevoeligheid</i> | idealiter alle essentiële categorieën van stoffen in relatie tot levering schadelijke dosis bij de klant onderscheid tussen stofklassen o.b.v. verschillende sensoren definitie acceptabele frequentie van fout-positieve metingen; aantal fout-positieve metingen > aantal daadwerkelijke besmettingen algemene classificatie van detectie door systeem idealiter bepaalt het systeem ook concentraties gevoelig genoeg om schadelijke hoeveelheden van stoffen te kunnen detecteren - sterk afhankelijk van lokale ruisniveau |

Van Thienen et al. (2014) bespreken de succesfactoren voor netwerken van waterkwaliteitssensoren op basis van een artikel van Kroll en King (2010). De volgende paragrafen zijn overgenomen uit (P. Van Thienen, De Graaf, B., Van de Roer, M., Schaap, P., Sperber, V., 2014). Kroll en King (2010) beschouwen sensorsystemen voor de detectie van anomalieën in de waterkwaliteit in het distributienetwerk (EDS: event detection systems) in brede zin. Zij doen dit vanuit een militaire achtergrond, maar met de drinkwatervoorziening als toepassing in gedachten. Zij hebben hierbij een lijst van succescriteria voor EDS opgesteld, die samengevat is weergegeven in Tabel 1. Deze zijn onder te verdelen in vijf categorieën:

1. *Toegevoegde waarde op twee fronten*: door naast de detectie van (zeldzame) serieuze anomalieën ook voor dagelijks gebruik nuttige informatie te leveren (bijvoorbeeld voor procesoptimalisatie of het opbouwen/versterken van het consumentenvertrouwen) kan de investering eerder worden terugverdiend. Een sensornetwerk moet meerdere opbrengsten tegelijkertijd leveren om rendabel te zijn.
2. *Vereisten voor gewenste detectieklasse*: er zijn drie detectieklassen voor waterkwaliteitssensorsystemen, namelijk *behandeling*, *bescherming* en *waarschuwing*. De eerste klasse omvat zeer betrouwbare systemen, waarop direct behandeling van blootgestelde personen kan worden gebaseerd. De tweede klasse omvat betrouwbare systemen, op basis waarvan maatregelen kunnen worden genomen om verdere blootstelling van de bevolking te beperken. De derde klasse omvat minder betrouwbare systemen, die worden gebruikt om blootstelling van de bevolking te beperken terwijl aanvullende tests worden uitgevoerd. Op het ogenblik vallen alle systemen in deze klasse, vanwege technische redenen en bestaande wettelijke kaders.
3. *Dekkingskarakteristieken*: de mate waarin informatie over het gehele netwerk beschikbaar komt.
4. *Operationele karakteristieken*: de mate waarin het systeem effectief door mensen kan worden gebruikt.
5. *Prestatiekarakteristieken*: er zijn diverse deelaspecten die het uiteindelijke succes van het systeem mede beïnvloeden.

2 Doelstelling 1: Versterken van klantvertrouwen

2.1 Aanleiding

Een waterbedrijf zou om strategische redenen kunnen investeren in een sensornetwerk waarmee het kan aantonen dat het zich tegen aanvaardbare kosten serieus heeft ingespannen om de continue levering van schoon en veilig drinkwater aan de klant te garanderen. Klanten en de media zijn beter en sneller te informeren over de oorzaak en ernst van een incident. Aangezien waterbedrijven een hoog vertrouwen van de klant nastreven, is het van belang om de invloed van een sensornetwerk op het klantvertrouwen te kennen, met name in geval van een waterkwaliteitsincident. In geval van een positieve invloed zijn investeringen in een sensornetwerk te beschouwen als een verzekeringspremie ten behoeve van klantvertrouwen. Tevens kan het bedrijf zich met een sensornetwerk duidelijker profileren in de media en bij werving van nieuw personeel als een modern bedrijf dat investeert in innovatieve technologische ontwikkelingen. In dit deelonderzoek wordt geïnventariseerd in hoeverre een sensornetwerk kan bijdragen aan klantvertrouwen (direct via de klant en indirect via media-aandacht).

2.2 Enquête invloed sensornetwerk op klantvertrouwen

Om meer inzicht te krijgen in de invloed van een sensornetwerk op klantvertrouwen is een aantal waterbedrijven middels een enquête gevraagd een inschatting te maken van frequenties, effecten en risicokosten van 5 typen waterkwaliteitsincidenten (leveringsonderbreking, bruin water, geur-/smaakproblemen, ziek -mild, ziek -overlijden) en wat de invloed van een sensornetwerk hierop zou kunnen zijn. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen het effect op het vertrouwen van klanten die direct door een incident worden getroffen en vertrouwen dat indirect wordt beïnvloed door aandacht in de media. Het hoofddoel is het maken van een inschatting van de mogelijke risicoreductie (vanwege een verhoogd klantvertrouwen) die met de aanwezigheid van een sensornetwerk kan worden gerealiseerd. Door de risicoreductie als opbrengst te beschouwen en te moneteriseren, is deze in principe af te zetten tegen de investeringen.

De enquête is door experts van vijf waterbedrijven (Brabant Water, Dunea, Evides, WLN, WML) ingevuld. In twee reacties is de tabel met waarden (deels) ingevuld. In de andere gevallen ging het om een woordelijke toelichting. De gevraagde informatie was soms onbekend, moeilijk te kwantificeren of gevoelig. Tevens werd opgemerkt dat de vraagstelling tot subjectieve informatie kan leiden, omdat de antwoorden van de bedrijven zullen afhangen van de achterliggende (per bedrijf mogelijk verschillende) interpretatie van de enquête. In de analyse zal daarom de nodige nuance worden gebezigd, die de bedrijven in hun reacties hebben aangegeven. Omwille van de vertrouwelijkheid zijn de antwoorden niet naar bedrijf uitgesplitst. Wel is getracht om de overeenkomsten en verschillen in de antwoorden zo goed mogelijk weer te geven.

2.3 Frequenties incidenten

De waterbedrijven is gevraagd naar de frequenties waarmee 5 typen incidenten voorkomen. Uit eerder BTO onderzoek (BTO 2015.024 (Vertommen, 2015)) en een contractonderzoek zijn meerjarige registratie van klantmeldingen beschikbaar (Tabel 2). Er is aangenomen dat de frequenties van meldingen een ruwe indicatie geven van frequenties van incidenten. De frequenties van geregistreerde meldingen voor bruin water en geur-/smaakproblemen zijn in ruwe overeenstemming voor de twee bedrijven. Voor ziektemeldingen was het echter niet mogelijk een beeld te krijgen vanwege de lage frequentie waarmee deze in Nederland optreden.

Op basis van de antwoorden van de bedrijven is een gradatie aan te geven in de verwachte incidentfrequentie per incidenttype. Van hoog- naar laagfrequent:

- ondermaatse leveringsminuten
- bruin water
- geur-/smaak problemen
- ziek (mild)
- ziek (ernstig)

De frequenties gekwantificeerd door de bedrijven wijken minder dan een factor 10 af van historische klantmedingen (Tabel 2).

TABEL 2. HISTORISCHE GEGEVENS VAN FREQUENTIES VAN MELDINGEN VAN VERSCHILLENDE TYPEN INCIDENT VOOR 2 NEDERLANDSE DRINKWATERBEDRIJVEN, GEBASEERD OP BTO 2015.024 (VERTOMMEN, 2015). *: GEEN GEGEVENS BESCHIKBAAR.

| | Waterbedrijf 1 (registratieperiode 6,8 jaar) | Waterbedrijf 2 (registratieperiode 4,8 jaar) |
|-----------------------|---|--|
| Type melding | Frequentie (jaarlijks, per 1.000.000 inwoners) | Frequentie (jaarlijks, per 1.000.00 inwoners) |
| Bruin water | 320 | 433 |
| Geur-/smaak problemen | 70 | 113 |
| Ziek | 5 | * |

2.4 Effect op vertrouwen van klanten

Er bestaan opvallend uiteenlopende meningen bij de bedrijven over de invloed van een sensornetwerk. Uiteraard zal een sensornetwerk positief bijdragen aan het klantvertrouwen indien daarmee de schadelijke gevolgen van incidenten kunnen worden beperkt. De resultaten van Hoofdstuk 4, waarin berekende detectiekansen van verontreinigingen zijn berekend, hangen hiermee samen. Eén waterbedrijf merkt op dat er geen hard bewijs is dat een sensornetwerk waterkwaliteitsverstoringen kan voorkómen en hooguit het verspreidingsgebied eerder in beeld kan brengen.

Een andere positieve invloed wordt ingeschat door bedrijven die verwachten dat een sensornetwerk tot meer inzicht leidt en de klant daardoor met digitale en traditionele mediakanalen beter en sneller is te informeren over de oorzaak en ernst van een incident. Daardoor stijgt volgens hen het klantvertrouwen, zelfs zonder dat het aantal incidenten daadwerkelijk afneemt. Eén waterbedrijf geeft bijvoorbeeld aan dat klanten over het algemeen best accepteren als er een keer geen water wordt geleverd, zolang ze maar goed worden geïnformeerd. Daarom heeft een sensornetwerk dat snel oorzaak en ernst kan helpen duiden een duidelijke meerwaarde.

Het effect kan echter ook neutraal of zelfs negatief zijn, indien een bedrijf (vanuit het perspectief van de klant) evenzeer, of zelfs extra verwijtbaar is als de klant getroffen wordt door een incident terwijl er een sensornetwerk aanwezig is. Volgens deze gedachte draagt een sensornetwerk pas positief bij aan het klantvertrouwen bij voldoende reductie van kwalijke effecten samenhangend met detectie en duiding van incidenten.

Verschillende incidentscenario's hebben een verschillende invloed op klantvertrouwen. Om dit te onderzoeken, is naar de invloed van 5 verschillende incidenttypen gevraagd. Drie bedrijven gaven een (overeenkomende) gradatie aan van de verschillende incidentscenario's in het effect op klantvertrouwen. Op volgorde van toenemende ernst was dit: OLM, geur-/smaakproblemen, bruin water, ziek (mild), ziek (ernstig). Dit is bijna omgekeerd aan de volgorde van frequenties waarmee deze incidenten zich voordoen. Een precieze inschatting is om verschillende redenen lastig. Zo is bij ziekmeldingen het verwachte effect groter indien het incident is terug te leiden naar het waterbedrijf dan wanneer dit niet het geval is. Verder is

aangenomen dat een incident éénmalig optreedt, terwijl in werkelijkheid het herhaald optreden van incidenten een negatieve invloed zal hebben op de beleving van klanten. Ook gaven verschillende bedrijven aan dat communicatie en vertrouwen uit het verleden een grote rol speelt bij het klantvertrouwen. Vanwege bovengenoemde nuances is het op basis van deze enquête niet mogelijk om nu de invloed op klantvertrouwen van een sensornetwerk voor verschillende incidenttypen nader te kwantificeren.

2.5 Effect op media-aandacht

Zoals voor het effect op klantvertrouwen, is ook het effect op media-aandacht lastig te bepalen. De experts van de drinkwaterbedrijven geven aan dat het onzeker is of het effect van een sensornetwerk positief of negatief zal zijn. Stel dat een drinkwaterbedrijf kan aantonen dat een voor de klant schadelijk incident heeft plaatsgevonden waarvoor het drinkwaterbedrijf verantwoordelijk is. Is het effect op de media dan positief omdat de oorzaak en ernst is achterhaald en het drinkwaterbedrijf kan aantonen dat het binnen de grenzen van het redelijke alles heeft gedaan om het incident te voorkomen? Of is het effect negatief omdat, ondanks de aanwezigheid van een sensornetwerk, het drinkwater onbetrouwbaar is en het bedrijf verantwoordelijk? Een andere reden die het inschatten bemoeilijkt is dat media-aandacht sterk afhankelijk is van overig nieuws.

De gevraagde experts hebben verschillende verwachtingen over de informatiewaarde van een sensornetwerk. Eén expert geeft echter aan dat het verbeteren van de boodschap in de media minder belangrijk wordt geacht dan het verbeteren van klantvertrouwen. Een ander geeft aan dat (voor scenario's met ziektegevallen) een sensornetwerk een positieve invloed op media-aandacht heeft als effecten zijn te reduceren, maar geen positieve invloed heeft indien het netwerk alleen incidenten detecteert. Duidelijk is dat de verschillende inzichten niet makkelijk onder één noemer zijn te vangen.

Ook is een kanttekening geplaatst bij het nut van extra informatie en of je hiermee niet nieuwe problemen creëert in plaats van ze op te lossen. Eén expert geeft aan dat een aantal vragen beantwoord dienen te worden bij de besluitvorming rond sensornetwerken. Bijvoorbeeld: indien er veel meetgegevens worden verzameld, kun/moet je hier dan ook naar handelen? Ga je als waterbedrijf (mogelijk voorbarig) een kookadvies afgeven bij bepaalde meetwaarden waarover je zonder sensornetwerk niet eens zou beschikken? De opbrengst van een sensornetwerk hangt dus ook sterk samen met gedefinieerde responsstrategieën of het ontbreken daarvan.

2.6 Reductie van risicokosten

Er is gevraagd de kosten te specificeren voor de 5 incidenttypen. Het gaat hierbij om risicokosten per incident (niet de kosten om het incident te verhelpen). Zoals te verwachten, is aangegeven dat risicokosten per incident toenemen met toenemende ernst (OLM -> bruin water -> geur-/smaakproblemen -> ziek-mild -> ziek -ernstig). De door de bedrijven ingeschatte risicokosten komen ruwweg overeen met de ingeschatte effecten op het klantvertrouwen. Hoewel twee bedrijven de kosten hebben gekwantificeerd, worden geen specifieke antwoorden gegeven in dit rapport. Deze bedrijven hebben bij het beantwoorden van de vragen gebruik gemaakt van de in het bedrijf gebruikte risicomatrix.

2.7 Opbrengst-investeringsrelaties

Een succesvolle business case benadering vereist inzicht in de kosten en opbrengsten, samenhangend met de installatie van een sensornetwerk. Kosten zijn kwantitatief in te schatten door een kostenmodel op te stellen, zoals beschreven in §4.3. Aan de opbrengstenkant is het kwantificeren of moneteriseren van klantvertrouwen of risicoreductie van incidenten echter niet mogelijk gebleken en wellicht ook in de toekomst lastig vanwege het ontbreken van consensus en het gevoelsmatige karakter van klantvertrouwen.

2.8 Samenvattend

Analyse van de antwoorden van 5 drinkwaterbedrijven op de enquête levert de volgende inzichten op:

- Op strategisch niveau zou een sensornetwerk kunnen bijdragen aan het klantvertrouwen. Of dat echt zo is, en via welke mechanismen, daarover bestaat bij experts van waterleidingbedrijven geen consensus. Het kwantificeren van opbrengsten is derhalve nog niet mogelijk en het is de vraag of kwantificering überhaupt een haalbaar doel is. Opbrengsten hangen bovendien niet alleen af van het presteren van een sensornetwerk, maar ook van de responsstrategie van het bedrijf.
- De frequentie van verschillende incidenttypen die door 2 drinkwaterbedrijven wordt gegeven is onderling consistent en komt ruwweg overeen met historische frequenties van klantmeldingen. De gradatie van toenemende ernst is: ondermaatse leveringsminuten, geur-/smaakproblemen, bruin water, ziek (mild) en ziek (ernstig). De gradatie van afnemende frequentie is: ondermaatse leveringsminuten, bruin water, geur-/smaakproblemen, ziek (mild), ziek (ernstig).

2.9 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De analyse in dit hoofdstuk toont overeenkomsten en verschillen in de invloed van een sensornetwerk op klantvertrouwen. Om tot een meer betrouwbaar en samenhangend perspectief te komen rond de meerwaarde van een sensornetwerk worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- **Onderzoek direct met klanten:** Waar in voorliggend onderzoek belangrijke kennis rondom klantvertrouwen is vergaard middels een enquête onder experts (indirect), wordt in een volgende fase om de kennis rond klantvertrouwen te vergroten onderzoek *met* de klant aanbevolen (direct). Recent bedrijfstakonderzoek laat zien dat onderzoek waarin de klant zelf wordt bevraagd - naar bijvoorbeeld zijn wensen, zorgen of betalingsbereidheid - waardevolle en aanvullende inzichten kan opleveren ten opzichte van reeds aanwezige kennis over hoe klanten de drinkwatervoorziening beleven en beoordelen (Brouwer, 2016) (Pieron, 2015). Ook op het gebied van vertrouwen in de kwaliteit en veiligheid van water is onderzoek direct met de klant waardevol, onder meer daar we uit voorgaand onderzoek weten dat de perceptie van consumenten over de risico's en de kwaliteit van drinkwater vaak anders is dan de evaluaties van experts (Doria, 2010). Om de relatie tussen sensornetwerken en klantvertrouwen beter te bepalen wordt specifiek aanbevolen te beginnen met een enquête onder klanten, inclusief klanten die recentelijk een storing hebben ervaren. Vanwege het subjectieve en gevoelsmatige karakter van vertrouwen wordt aanbevolen om aansluitend een (follow-up) focusgroep met een klein aantal respondenten te organiseren om de enquêteresultaten nader te kunnen duiden en van betekenis te voorzien.¹ Bij deze onderzoekstappen wordt niet het reduceren van de complexiteit in een kwantitatief cijfer beoogd, maar gaat het primair om het opdoen van kwalitatief inzicht en het beter begrijpen van de nuance en de veelheid van factoren die samenhangen met klantvertrouwen.
- **Organiseer een workshop met de waterbedrijven:** Op basis van de resultaten van voorliggend rapport, de voorziene enquêteresultaten en geïnspireerd door de perspectieven die naar voren zullen komen tijdens de focusgroep kan worden gezocht naar concrete handelingsopties: opties om de mogelijke uitrol en inpassing van sensornetwerken op zo een manier in te richten dat het klantvertrouwen daadwerkelijk kan toenemen. Hierbij is de kennis en inzicht van diverse experts van belang. Deze opties zullen dan ook tot stand komen tijdens een interactieve workshop met drinkwaterprofessionals op het gebied van management, strategie, operatie en communicatie, en de KWR onderzoekers.

¹ Kort gezegd is een focusgroep een informele discussie tussen een klein aantal personen over een bepaald onderwerp. Het aantal deelnemers kan variëren van 8 tot 25 en de discussie wordt begeleid door een moderator. De focusgroep benadering wordt in de praktijk voor zeer uiteenlopende doelen en door zeer verschillende organisaties gebruikt. Eén van de doelen waarvoor focusgroepen worden gebruikt is inzicht te krijgen in de manier waarop de deelnemers tegen een bepaald probleem aankijken. De methode is populair in de marketing, in diverse onderzoekstradities, maar wordt ook regelmatig door politieke partijen gebruikt om te weten wat er in 'de' samenleving speelt (Morgan, 1998).

3 Doelstelling 2: Vergroten van systeemkennis

3.1 Achtergrond en motivatie

Veel processen, fenomenen en parameters zijn onderling verbonden². Dit heeft als gevolg dat resultaten van processen in meerdere typen metingen terecht kunnen komen, waardoor er een zekere mate van redundantie van informatie ontstaat. Denk bijvoorbeeld aan twee typen waterkwaliteitsmetingen, de EGV en een spectroscopische 'fingerprint' met behulp van de Optiqua EventLab-sensor. Deze redundantie kan worden uitgebuit om andere informatie over het systeem die met meerdere of mindere mate van zekerheid bekend wordt geacht te toetsen. Een leidingbreuk zal bijvoorbeeld tegelijkertijd tot een toename van de volumestroom en een afname van de druk op bepaalde meetpunten leiden (en indirect ook voor een toename van de troebelheid op bepaalde punten). Wanneer deze veranderingen niet alle worden geconstateerd waar ze wel worden verwacht, is deze inconsistentie aanleiding om kennis over het systeem (het 'model') tegen het licht te houden. Zo kunnen bijvoorbeeld de afsluiterstanden in het gebied in het model worden gecorrigeerd, onzekerheden in bepaalde (waterkwaliteits)parameters worden verkleind of meetwaarden worden uitgesloten (sensorfoutopsporing).

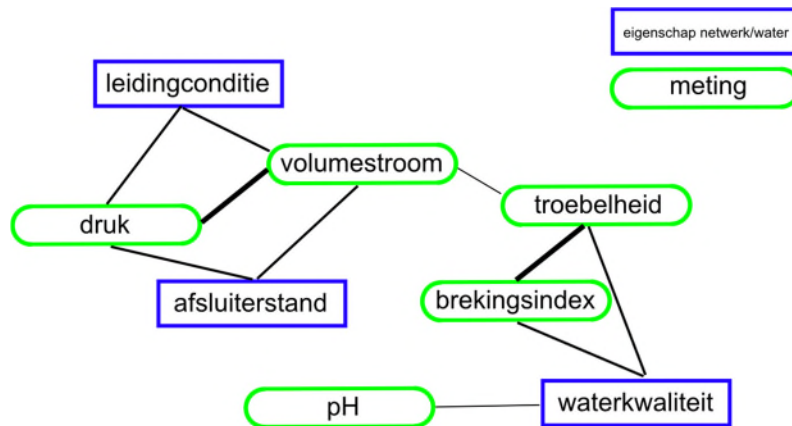
Ten grondslag aan het vergroten van de systeemkennis is het verkleinen van de onzekerheden in het model van het complete systeem - dat wil zeggen de waterinfrastructuur inclusief het sensornetwerk. Onzekerheden komen voor in fysische, chemische en biologische afhankelijkheden waarvan de variabelen met een bepaalde zekerheid modelmatig of via sensormetingen zijn vastgelegd. Voorbeelden die van toepassing zijn op onzekerheden in een bemeten leidingnet zijn:

- de parameterwaarden die de lengte-/diameter- of wandruwheid kenmerken (een kleine onzekerheid);
- sensorbetrouwbaarheid (drempelwaardes/detectiegrenzen, sensorfouten, etc.);
- de actuele verbruiken;
- fysisch-chemische variabelen, met een beperkte onzekerheid (pH, ionsterkte van opgeloste mineralen, temperatuur) en variabelen met grote(re) onzekerheid (organische stoffen, (micro)verontreinigingen, deeltjes, etc.);
- microbiologische processen, deze hebben een grote onzekerheid (variabelen zijn bijvoorbeeld groei, biofilmvorming en -afbraak, afsterving, populatiedynamiek);
- configuraties (vaak met geringe onzekerheid: plaatsing sensoren, afsluiters, kleppen etc.).

Afhankelijkheden tussen variabelen kunnen van tevoren grotendeels bekend zijn, maar kunnen ook aan de hand van verschillende sensordata worden afgeleid. Afhankelijkheden kunnen worden weergegeven in een graaf (zie Figuur 3-1), een diagram waarbij de knooppunten de variabelen voorstellen en de lijnstukken (kanten) de afhankelijkheden. Een inventarisatie van de onderlinge afhankelijkheden op basis van expertkennis kan een eerste invulling geven. Het is ook mogelijk de richting van de informatiestroom weer te geven of te reconstrueren. Nieuwe sensormetingen kunnen het inzicht verder vergroten: in gewicht van de afhankelijkheid (te vergelijken met een correlatiecoëfficiënt), richting of afhankelijkheid. Reconstructie van de graaf kan met behulp van graaftheoretische methodieken. De concepten worden kort benoemd in Paragraaf 3.3 en nader uitgelegd in Paragraaf 3.5.

² Enkele voorbeelden:

- Afsluiterstanden beïnvloeden de volumestroom. Indirecte gevolgen: (i) verandering in vervuilingspotentie zorgt voor veranderingen in troebelheid, (ii) stromingspatronen en schuifspanningen die op hun beurt invloed hebben op microbiologische nagroei.
- Een leidinglek veroorzaakt een lagere druk, dit zorgt voor energieverlies in de waterlevering
- Verbruik van klanten beïnvloedt druk en volumestroom, wat invloed heeft op de hydraulische condities en de kelderstanden. De kelderstanden beïnvloeden op hun beurt de vervuilingspotentie.



FIGUUR 3-1: SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN ENKELE ONDERLINGE (CORRELATIEVE) VERBANDEN TUSSEN METINGEN EN NETWERK/WATERKARAKTERISTIEKEN.

3.2 Aanpak

De volgende stappen zijn gevolgd:

1. Er is een literatuurscan uitgevoerd ter verkenning van oplossingsrichtingen (zie Paragraaf 3.3);
2. Een oplossingsrichting die geschikt is om verbanden tussen sensoren te identificeren en kennis over het systeem te vergaren, is geselecteerd (Paragraaf 3.4);
3. De methodiek van de oplossingsrichting is beknopt beschreven (Paragraaf 3.5).
4. Vervolgstappen en een perspectief zijn geformuleerd (Paragraaf 3.6).

3.3 Literatuurscan: probleembeschrijving & oplossingsrichting

Startpunt van doelstelling 2 is een tactische overweging om de kennis van het systeem te verbeteren. Een belangrijke vraag hier is: wat wordt als systeem beschouwd, en vervolgens: hoe wordt kennis hiervan vastgelegd teneinde het model, of hetgeen men verwacht, (meer) te laten overeenkomen met de gemeten werkelijkheid? Om hier specifieke antwoorden op te vinden, beschouwen we systeemkennis op verschillende niveaus teneinde onderscheid te kunnen maken in mogelijke oplossingsrichtingen:

1. Kennis van relaties tussen verschillende sensoren (correlatief, c.q. causaal);
2. Kennis van de topologie en structuur van het leidingnet (vertakkingen, vermazingen, afsluiters, etc.);
3. Kennis van wat er in het leidingnet afspeelt (fysische wetten, chemie), inclusief de interactie met de omgeving (bijvoorbeeld warmte-uitwisseling);
4. Een combinatie van bovenstaande.

Afhankelijk van de mate van deterministische kennis over fysische, chemische en biologische processen, en informatie uit het sensornetwerk onderscheiden we in het navolgende drie probleem-oplossende richtingen die interacties van het systeem in een model vastleggen, geordend van generiek tot ad hoc of toepassing-specifiek:

1. **Graaf-theoretische concepten.** Reconstructie van *causaliteit tussen de sensormeetwaarden* door gebruik te maken van grafentheorie en de volgende aannames:
 - a. de *meetreeks* bevat voldoende *variatie* (binaire meetwaarden kunnen in sommige gevallen, bijvoorbeeld stroomrichtingreconstructie, voldoende zijn) in de tijd, en
 - b. het *aantal* en *type sensoren* is bekend.
2. **(Dynamische) systeemidentificatie.** Voor toepassing in de waterinfrastructuur vertaald als: reconstructie van de *topologie van een leidingnetwerk* én (in de tijd) dynamische *verbanden* (bijv. regressies) tussen alle *gemeten variabelen*, waarbij wordt aangenomen dat:
 - a. het *aantal knopen* van het leidingnetwerk bekend is;
 - b. het *aantal* en *type sensoren* bekend is;

- c. de *modelstructuur* van de relatie tussen *ingaaende* en *uitgaande* signalen bekend is (m.a.w. alleen parameters worden geschat, niet de vorm van een functie). Voorbeeld: de waarde van een volumestroomsensor (s_1) in een grote leiding kan als functie van een andere volumestroomsensor bovenstrooms (s_2 , ook in een grote leiding) worden beschouwd als zijnde de waarde van s_1 met bepaalde tijdsvertraging en de vermenigvuldiging met een constante (de constante is ongelijk aan 1 indien er een vertakking is geweest of het water door een andere leidingdiameter stroomt);
 - d. de *meetdata* heeft voldoende *variatie in tijd en magnitude*.
3. **Heuristische analyse.** Reconstructie van de *topologie van een leidingnetwerk* door de resultaten van leidingnetmodellen te analyseren met meetwaarden. Er zijn dan de volgende aannames:
- a. het (hydraulische) leidingnetmodel heeft weinig onzekerheden;
 - b. het *aantal en type sensoren* is bekend;
 - c. de gemodelleerde relaties kunnen de werkelijkheid goed nabootsen. In de praktijk zijn dit vaak fysische relaties (druk - volumestroom bijvoorbeeld);
 - d. voldoende variatie in de meetdata, afhankelijk van het reconstructieprobleem, het aantal sensoren en de nauwkeurigheid van het leidingnetmodel.

De toepassing van *graaf-theoretische concepten* (oplossingsrichting 1) heeft als voordeel dat ook verschijnselen waar nog geen accuraat of betrouwbaar model beschikbaar voor is, tóch kan leiden tot verbeterde kennis over het systeem omdat daarvoor nog geen beeld was van wat oorzakelijk van invloed is geweest op een (sensor)waarde in een netwerk. Methodieken worden voornamelijk in bio-informatica (genomics, proteomics; zie bijvoorbeeld (Lozano, 2009) en econometrie (Foresti, 2007, Hoover, 2008) toegepast omdat daar de verbanden vaak lastig inductief zijn te determineren.

Een eerste stap is de reconstructie van het skelet van een graaf door middel van de constructie van een zogenaamde correlatieve graaf (een voorbeeld is in Figuur 3-1 getoond). Bij het skelet worden de afhankelijkheden tussen variabelen zonder richting weergegeven, een dergelijke graaf geeft dus alleen de verbanden tussen knooppunten waar informatie stroomt, inclusief verbanden die via een andere variabele (bijv. een ander type sensor) lopen. De richting van informatiestroom wordt wel weergegeven in een zogenaamde causaliteitsgraaf (Dahlhaus, 2003). Beide grafen zijn geïllustreerd in Figuur 3-2.

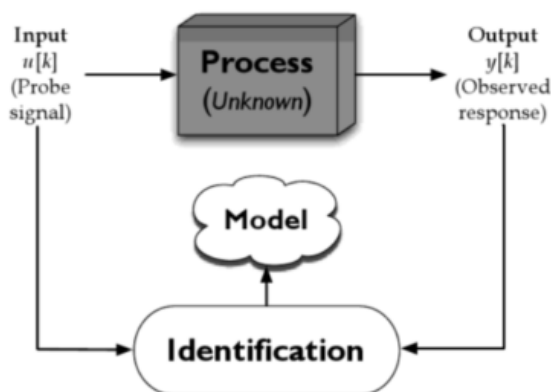


FIGUUR 3-2: LINKS: CORRELATIEVE GRAAF TUSSEN DE INFORMATIEBRONNEN 1, 2, 3, 4 EN 5, WAARBIJ COORELATIEVE VERBANDEN MET LIJNSTUKKEN ZIJN WEERGEGEVEN EN VARIABELEN ALS KNOPEN (BOLLETJES); RECHTS DE CAUSALITEITSGRAAF VAN HETZELFDE ONDERLIGGENDE SYSTEEM. IN EEN CAUSALITEITSGRAAF WORDT DE RICHTING VAN DE INFORMATIESTROOM ALS PIJL WEERGEGEVEN. UIT: DAHLHAUS & EICHLER, 2003.

Voor dit werk is de richting van informatiestromen wel belangrijk, bijvoorbeeld omdat men geïnteresseerd is in de stroomrichting van het water in het leidingnet. In grafentheorie wordt de richting van de informatiestroom met het begrip causaliteit gekoppeld. In de literatuur lijken er echter verschillende interpretaties te zijn over causaliteit, die ogenschijnlijk controversieel zijn. Zo stelt Pearl (2009) bijvoorbeeld dat causaliteit een basisprincipe is, terwijl Willems (2007) beweert dat causaliteit geen rol zou mogen spelen in het modelleren van een systeem. Dankers (2014) nuanceert dat verschillen in de interpretatie van causaliteit afhankelijk is van de context: bij het *modelleren van het systeemgedrag* is men vrij om de inputs en outputs van het model te kiezen (m.a.w. causaliteit hoeft geen rol te spelen bij de systeemvergelijkingen), terwijl bij het *identificeren van het systeem* aan de hand van meetgegevens causaliteit wel degelijk van belang is (omdat plaatsing van sensoren en actuatoren zijn vastgelegd). In dit werk trachten we verbanden zoals in Figuur 3-1 te reconstrueren *inclusief* de richting van informatiestroom met een toepasbare definitie.

Daartoe is het principe van Granger causaliteit geschikt, zie verder Paragraaf 3.5.2. Meer informatie over het onderwerp is beschikbaar in (Dahlhaus, 2003) (Granger, 1980) (Spirtes, 2010).

Systeemidentificatietheorie (oplossingsrichting 2) is met name interessant voor systemen waarbij de *modelstructuur* tussen ingangs- en uitgangssignalen betrouwbaar (met weinig bias en variantie en rekening houdend met de ruiskarakteristieken of andere verstoringen op het signaal) kan worden vastgelegd. Schematisch kan de identificatie van een modelstelsel worden weergegeven als in Figuur 3-3 (uit: Tangirala (2014)). Het is mogelijk fysische kennis naar een bepaalde input-outputmodelstructuur te vertalen. De methodiek maakt evenals de graaf-theoretische oplossingsrichting (1) gebruik van een statistische toets of er een verband is in causaliteit, waarbij de verbindingen (kanten, *edges*) in een (informatiestroom)netwerk zonder causaliteit worden weggelaten. Met name in de robotica, elektrotechniek, mechanica, en regeltechniek worden systeemtheoretische technieken uitgewerkt, andere toepassingen zijn echter ook denkbaar (Dankers, 2014). De systeemidentificatiemethodiek is echter complex en vergt voor de toepassing in waterdistributiesystemen een vertaalslag van (vaak niet-lineaire) modellen, zoals die tussen volumestroom en druk, of (bio)katalytische afbraak of sorptie van verontreinigingen of stoffen, naar (lineaire) ingang-uitgangmodellen die deze werkelijkheid zo goed mogelijk benaderen. Voor literatuur over gebruikte methodieken, zie: Dankers (2014), Ha (2015) en Rojas (2014).



FIGUUR 3-3: SYSTEEMIDENTIFICATIE SCHEMATISCH WEERGEGEVEN ALS DE TAAK OM VAN INPUT-OUTPUT DATA EEN MODEL TE RECONSTRUEREN.

Bij *de heuristische analyse* (oplossingsrichting 3) worden met name methodieken ontwikkeld die gebruikmaken van (veel) kennis over de toepassing en numerieke oplossingsmethodieken waarbij met Monte-Carlo, clustering van het totale leidingnetmodel in kleinere (bemeten) netwerken (Perelman, 2011) of met heuristische analyses wordt gekeken naar een modelaanpassing zodanig dat de gesimuleerde modelwaarden zoveel mogelijk overeenkomen met meetwaarden (Giustolisi, 2008). Een directe koppeling om het verschil tussen modelresultaten en metingen als in de meer generieke, systeemtheoretische benadering te minimaliseren, is voor zover de literatuurscan reikte, niet bekend.

3.4 Selectie van methodiek en kennisvragen

In dit werk is getracht een proof-of-principle uit te werken voor het beter kennen van een waterinfrastructuur die met verschillende sensoren wordt bemeten met oplossingsrichting 1 (grafentheorie). De systeemtheoretische aanpak (en, afhankelijk van de toegepaste methodiek, ook de heuristische aanpak) vergt naast kennis over numerieke wiskundige technieken en statistiek, ook kennis van grafentheorie. In dit project is gekozen voor het verkennen van de causaliteit in een sensornetwerk van een leidingnetsysteem door gebruik te maken van graaf-theoretische concepten.

Bij deze studie zijn de volgende kennisvragen van toepassing:

- (a) *Is het mogelijk om de verbanden tussen sensoren in een leidingnetwerk, bijvoorbeeld die tussen volumestroom en druk, vast te leggen in een graaf?*
- (b) *Bij bevestiging van vraag (a): hoe verhoudt de sensorgraaf zich tot het fysieke systeem (netwerk van sensoren die variabelen in het leidingnet bemonsteren)?*
- (c) *Bij bevestiging van vraag (a): welke eisen stelt de reconstructie van de sensorgraaf op? Met andere woorden: hoeveel data is nodig, welke variëteit moet er in de data zitten, etc.*
- (d) *Hoe robuust is de methodiek en wat is de prestatie van het reconstructiealgoritme (aantal vals positieven, aantal vals negatieven, aantal juist gereconstrueerde verbanden)?*
- (e) *Wat is een geschikt criterium om de informatie die uit een sensornetwerk met enkele sensoren in het leidingnet komt, af te zetten tegen de hoeveelheid data die beschikbaar zou zijn als op elke leiding en knooppunt van een leidingwerk een (goedwerkende) sensor beschikbaar zou zijn?*
- (f) *Hoe leggen we redundantie van informatie kwantitatief vast en kan hier gebruik van worden gemaakt in sensorfout-opsporing?*

In dit werk is getracht kennisvraag (a) te verkennen, de methodiek en uitwerking staan beschreven in Paragraaf 3.5.

3.5 Systeemdefinitie en (uitwerking van) methodiek

Voor reconstructie van het sensornetwerk wordt gewerkt naar een methode die de verbanden tussen de knopen in een graaf (de sensoren) duidt.

3.5.1 Systeemdefinitie

Meer specifiek is het te reconstrueren systeem als volgt beschreven:

- Het leidingnet is een graaf (netwerkmodel), dat het leidingnetwerk weergeeft als een verzameling knopen waarvan de meeste verbonden zijn door kanten (lijnen). De kanten illustreren de leidingen, terwijl de knopen de voedingspunten, vertakkingen, eindpunten of verbruikspunten weergeven. Een graaf met gerichte kanten (van toepassing om bijvoorbeeld de richting van de waterstroom door een leiding te duiden) wordt een gerichte graaf genoemd. De input-variabelen voor het model zijn gedefinieerd op de voedingen (productielocaties en/of aanjagers), output-variabelen zijn gedefinieerd op die plekken waar men informatie wilt vergaren (bijvoorbeeld aansluitingen). De inputs worden bekend verondersteld, en kunnen (bijvoorbeeld) zijn gemeten met behulp van sensoren.
- Relaties tussen verschillende variabelen (bijvoorbeeld volumestroom, druk, concentratie van een stof, elektrisch geleidingsvermogen) zijn met deterministische modelvergelijkingen beschreven, waarbij alle relaties tussen de variabelen (of ze nu gemeten zijn of niet) bekend worden verondersteld en voor elke *knoop* (bijv. druk) of *kant* (bijv. volumestroom) gelden. Hiervoor zijn, voor de huidige context, modellen nodig die de waterkwaliteit en de hydraulische condities kunnen beschrijven. De uitkomsten van de vergelijkingen voor de toestandsvariabelen worden in een matrix opgeslagen: de variabelen worden toestandsgewijs geordend in kolommen (d.w.z. eerst de knopen met bijv. drukwaarden, dan de kanten met bijv. volumestroomwaarden), de waarden per tijdstap worden rij-gewijs opgeslagen.
- De sensormetingen komen in een datamatrix. De datamatrix wordt berekend door kolommen van de toestandsmatrix te selecteren, m.a.w. enkele knopen en/of kanten van de graaf zijn geselecteerd.

3.5.2 Methodiek

De methodiek is geënt op het beantwoorden van kennisvraag (a), zie Paragraaf 3.4. De volgende vier stappen zijn daarbij geprogrammeerd:

1. *Opzetten van het modelsysteem.* Met een verondersteld leidingnetwerk en veronderstelde relaties tussen sensoren (dit moet het werkelijke systeem voorstellen en nabootsen) worden sensorsignalen gegenereerd. In eerste instantie worden simpele leidingnetwerkmodellen en hydraulische/fysische

modellen gebruikt om relaties tussen sensoren te simuleren. Als aanzet zijn druk- en volumestroomrelaties uitgewerkt, waarbij de druk op knooppunten in het leidingnetwerk is gedefinieerd en volumestromen op de kanten. De variabelen zijn in een toestandsvector gerangschikt.

2. *Reconstructie van verbanden tussen sensoren.* Met een algoritme wordt de causaliteitsgraaf gereconstrueerd, zie voor een definitie Dahlhaus (2003), Spirtes (2010). Het algoritme legt de zogenaamde Granger causaliteit³ vast in een gerichte graaf door gebruik te maken van een statistische toets. Eenvoudig gezegd komt de methodiek neer op het reconstrueren van een graaf tussen informatiebronnen (hier: de sensoren) waarbij de richting 'oorzaak → gevolg' wordt geduid. Het PC-algoritme bestaat uit 2 stappen: (1) reconstructie van correlatieve verbanden tussen de bemeeten knopen en (2) duiding van de oorzaak-gevolg richting in de datastroom.
3. *Testen van reconstructie-methodiek.* Het algoritme (stap 2) wordt getest met het modelsysteem als gedefinieerd in stap 1.

3.5.3 Uitwerking en bevindingen

Voor de implementatie is gekozen om te programmeren in Python en gebruik te maken van de bibliotheken *networkx* (bibliotheek voor constructie van een graaf), vergelijkingen voor druk-volumestroomrelaties, *pcalg* (gedeeltelijke implementatie van het PC-algoritme (Kalisch, 2007)) voor de reconstructie van Granger causaliteitsgraaf en numerieke bibliotheken.

Uit de korte ontwikkel- en testperiode zijn de volgende bevindingen naar voren gekomen:

- Een cruciaal onderdeel van de methodiek, namelijk het PC-algoritme Kalisch (2007), bleek slechts gedeeltelijk geïmplementeerd in Python. De belangrijkste functionaliteit, namelijk de toetsing of er een causale relatie bestaat, ontbreekt voor continue signalen. Afgaande op de documentatie, lijkt de implementatie in het statistische softwarepakket R wel volledig te zijn.
- Voor zover met de binaire toetsing (alleen geschikt voor signalen met nullen en enen) met een fictief, academisch voorbeeld (geen leidingnetwerk-procesmodel) vastgesteld kon worden, lijkt de methodiek veel excitatie (variatie) van signalen nodig te hebben;
- Er wordt getoetst op causaliteit tussen knooppunten, maar niet tussen kanten (voor volumestromen de meest voor de hand liggende definitie indien het leidingnetwerk als graaf wordt beschouwd). Dit laatste kan worden opgelost door (a) af te stappen van de notie van een leidingnetwerkgraaf óf (b) knooppunten tussen vertakkingen in het leidingnetwerk te definiëren. In geval sprake is van (a) kunnen resultaten moeilijker te vertalen zijn naar topografische kenmerken (volumestroomrichting), voor (b) is extra administratie (knooppunten komen overeen met sensoren, niet met het netwerk) benodigd.

3.6 Vervolgstappen en perspectief

Een aantal vervolgstappen worden voorgesteld om bovenstaande kwesties op te lossen zodat in elk geval de meest relevante kennisvragen ((a) tot en met (d)) kunnen worden geanalyseerd en beantwoord.

3.6.1 Vervolgstappen

1. Uitwerking van het PC-algoritme in Python, of de huidige basis (model voor datageneratie van volume-stroom en drukdata) porteren naar het softwarepakket R;
2. Analyse van de gereconstrueerde grafen en waar nodig de theorie versterken, of anders definiëren van het systeemmodel zodat verschillende probleemkwesties (volumestroomrichting, afsluiterstandreconstructie, etc.) met eenzelfde raamwerk kunnen worden opgelost (zie ook 3^e bullet in Paragraaf 3.5.3);
3. Het uitwerken van verschillende testcondities (variatie in signalen, aantal sensoren) en scenario's (verschillende leidingnetwerkconfiguraties, simulaties in sensorfouten);

³ Granger causaliteit is formeel gedefinieerd een statistische methode (toets) of een tijdreeks een significante correlatie heeft in het voorspellen van een andere tijdreeks. Er wordt (wiskundig) van uitgegaan dat (a) gevolg Y later volgt dan oorzaak X en (b) dat de oorzaak (X_t) unieke informatie heeft over de toekomstige waarden van het effect (Y_{k+i}). Voor niet-lineaire signalen (modellen) kan deze toets niet gebruikt worden en wordt de breder toepasbare toets voor (tijd-*asymmetrische*) informatie-overdrachtsentropie (*transfer entropy*) gebruikt.

4. De uitkomsten in stap 3 evalueren.

Met resultaten uit deze stappen kan worden vastgesteld of de gekozen, graaf-theoretische oplossing voldoende geschikt is voor het verbeteren van de kennis over de waterinfrastructuur met behulp van sensordata, of dat bijvoorbeeld energie moet worden gestoken in andere oplossingsrichtingen.

3.6.2 Perspectief

Bij doelstelling 2 is de hypothese dat elke waargenomen discrepantie tussen verwachte en werkelijke respons van het systeem benut kan worden om het inzicht in het systeem te verbeteren. Een belangrijke veronderstelling in deze hypothese is dat de mate van systeemkennis bekend is en dat discrepanties in modelresultaten en meetdata leiden tot modelverbeteringen. Het is belangrijk te onderzoeken hoe, en op welke aspecten we de kennis van het systeem kunnen verbeteren en wat daarvoor condities zijn met betrekking tot de frequentie van data, sensordekking en type sensoren. In dit hoofdstuk is daarvan een eerste verkenning gegeven.

Om van verkenning tot analyse en evaluatie van een methodiek te komen, is een extra onderzoeksinspanning gewenst. Deze kan echter worden terugverdiend op verschillende fronten, alle relaterend aan het vergroten van de kennis van het systeem door het terugdringen van onzekerheden in het systeemmodel, bijvoorbeeld:

- *Foutopsporing topologie van model:* fouten in de topologie van het leidingnetmodel zouden kunnen worden herkend (in wijk X is een afsluiter kapot, in buurt Y is een lek, in wijk Z wijkt het gedrag van verbruik af van de verwachting)
- *Verkleinen van onzekerheden in de waterkwaliteitsparameters,* door onderlinge relaties tussen variabelen te reconstrueren voor bijvoorbeeld parameters waar een grote(re) onzekerheid bestaat zoals microbiologische parameters en/of specifieke (fysisch-)chemische parameters (verontreinigingen en deeltjes);
- *Foutopsporing sensoren:* verbanden tussen sensoren kunnen worden blootgelegd en als 'profiel' van een goedwerkende infrastructuur worden geregistreerd. Afwijkingen in het systeemmodel (graaf met andere gewichten, of een graaf met ontbrekende verbindingen (kanten)) kunnen indicaties geven van slecht- of niet-functionerende sensoren indien het sensornetwerk voldoende redundantie bevat.
- *Verbetering configuratie van sensoren:* met de voorgestelde methodiek en een criterium van informatiedichtheid, kunnen sensorconfiguraties worden geanalyseerd of een configuratie-optimalisatie worden uitgevoerd op basis van kosten- en batenfuncties (waarbij een verbeterde informatiedichtheid als baat kan worden meegenomen).

Met bovenstaande is de verwachting dat met de beschikbare informatie uit sensoren én een methodiek om deze informatie te verwerken, de kennis over het systeem kan worden verbeterd of gecorrigeerd en daarmee stuur-, onderhouds- en beheersmaatregelen beter kunnen worden ingericht (afsluiters repareren, lek dichten, etc.).

4 Doelstelling 3 – Kennis van de waterkwaliteit

4.1 Aanleiding

Een sensornetwerk kan worden ingericht om meer inzicht te krijgen in de waterkwaliteit en klanten beter te beschermen tegen waterkwaliteitsincidenten. Deze doelstelling is mogelijk dienend aan doelstelling 1, indien het herkennen van incidenten inderdaad resulteert in een hoger klantvertrouwen (zie Hoofdstuk 2).

Accurate en snelle detectie van incidenten maakt het makkelijker om de oorzaak en ernst snel te duiden en actie te ondernemen om mogelijk schadelijke gevolgen te beperken. Voorbeelden van potentiële incidenten als gevolg van moedwillige of niet-moedwillige fysische, chemische of microbiologische verontreinigingen zijn afwijkingen in de kalkafzetbaarheid, zuurgraad, kleur (bruin water) of temperatuur van het water. Numerieke modellering wordt steeds vaker ingezet om prestaties te bepalen voor een sensornetwerk dat is geoptimaliseerd voor één of meerdere prestatie-indicatoren zoals detectiekans, detectietijd of bronbepaling van een waterkwaliteitsverontreiniging. Door een kostenmodel op te stellen voor sensornetwerken en deze te combineren met de berekende prestaties zijn prestatie-investeringsrelaties op te stellen (P. Van Thienen, De Graaf, B., Van de Roer, M., Schaap, P., Sperber, V., 2014). In een aanpalend onderzoek is deze methode toegepast om voor een concreet leidingnetwerk vuistregels op te stellen als hulpmiddel bij investeringsbeslissingen (TKI INTEREST, (Van Summeren, 2016)). Resultaten van dit onderzoek zijn gebruikt en aangevuld om voor een concreet leidingnetwerk (Nijmegen) om de opbrengsten en kosten van een sensornetwerk te kwantificeren.

4.2 Methode

Er is gekozen om sensornetwerken te optimaliseren voor een maximale detectiekans door ten minste één sensor van een fictief sensornetwerk in het distributienetwerk van Nijmegen. Detectiekansen zijn berekend door in een modelleidingnet fictieve verontreinigingen door een leidingnetmodel te laten stromen en de respons van een gesimuleerd sensornetwerk te berekenen. De configuratie van het sensornetwerk wordt daarbij geoptimaliseerd voor een bepaalde doelstelling, in dit geval gemiddelde detectiekans van een ensemble van 100 gesimuleerde waterkwaliteitsverontreinigingen (Figuur 4-1).

De optimalisatieberekeningen zijn uitgevoerd met de binnen het BTO ontwikkelde Contamination Source Toolkit (P. Van Thienen, 2014). Het vinden van de meest optimale sensornetwerkconfiguratie is gebaseerd op een genetisch algoritme, een wiskundige methode om uit een verzameling mogelijke oplossingen voor een probleem de meest geschikte vinden. Voor een gedetailleerdere beschrijving van de methodiek wordt verwezen naar (P. Van Thienen, 2014) en details van het leidingnetmodel en sensornetwerkparameters wordt verwezen naar (Van Summeren, 2016).

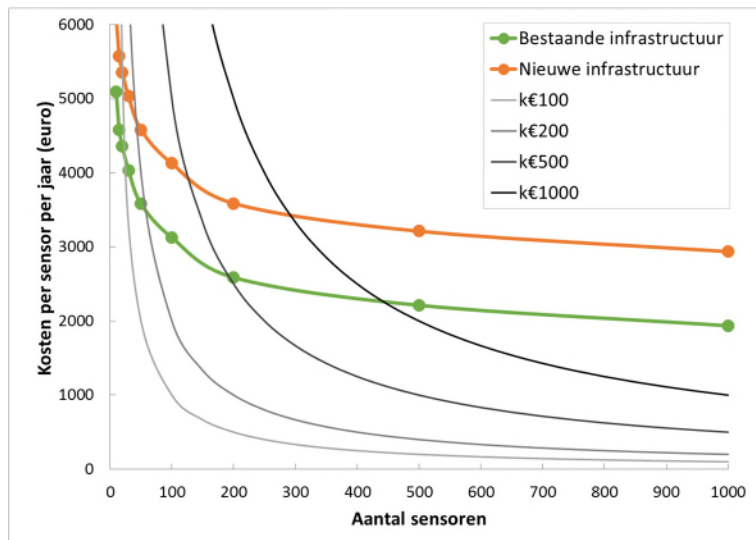


FIGUUR 4-1. LEIDINGNETMODEL NIJMEGEN MET 100 BRONLOCATIES (BLAUWE CIRKELS) GEBRUIKT IN DE VERONTREINIGINGSSCENARIO'S IN OPTIMALISATIE EN PRESTATIEBEPALING VAN SENSORNETWERKEN .

4.3 Kostenmodel voor algemene waterkwaliteitssensoren

Voor het bepalen van investeringen in een sensornetwerk is gebruik gemaakt van een kostenmodel, opgesteld in samenwerking met sensorleverancier Optiqua binnen het eerdergenoemde TKI INTEREST project (Van Summeren, 2016). Er is uitgegaan van algemene waterkwaliteitssensoren (Optiqua EventLab). Ten behoeve van een evenwichtige schatting zijn de kosten per jaar is gemiddeld over een investeringsperiode van 10 jaar. De installatieperiode van een grootschalig sensornetwerk kan namelijk meerdere jaren omvatten en de totale kosten bestaan uit eenmalige kosten (aanschaf, projectkosten, en inrichting van meetlocaties) en operationele, jaarlijks terugkerende kosten (energie, vervanging, onderhoud, licentie voor software, data transfer).

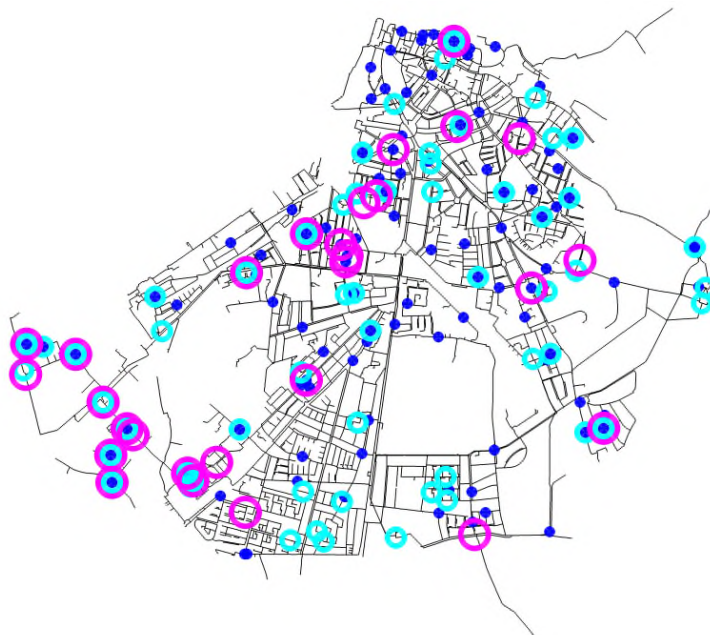
Het kostenmodel is doorgerekend voor 10-1000 sensoren. De resultaten uit het TKI INTEREST project zijn in aangepaste vorm weergegeven in Figuur 4-2. Hieruit blijkt dat voor een toenemend aantal sensoren de kosten per sensor afnemen. De totale kosten zijn erg gevoelig voor de manier van sensorinstallatie. Installatie op bestaande locaties, zoals zwembaden of bij industriële gebruikers, is relatief goedkoop maar het aantal locaties en de geografische vrijheid beperkt en kan ten koste gaan van de opbrengsten. Installatie op nieuwe meetlocaties geeft een grotere vrijheid in mogelijke sensorlocaties maar de inrichting van nieuwe stations maakt de aanleg substantieel duurder.



FIGUUR 4-2. KOSTEN PER SENSOR PER JAAR ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL GEÏNSTALLEERDE SENSOREN. DE TWEE CURVES TONEN DE BEREKENDE KOSTEN VOOR DE SITUATIE WAARIN SENSOREN OP BESTAANDE (GROENE CURVE) OF NIEUW-IN TE RICHTEN (ORANJE CURVE) INFRASTRUCTUUR WORDEN GEÏNSTALLEERD. GRIJZE CURVES GEVEN DE KOSTEN VOOR HET TOTALE AANTAL SENSOREN PER JAAR WEER ZOALS AANGEGEVEN IN DE LEGENDA.

4.4 Prestatie-kostenrelatie geoptimaliseerd sensornetwerk

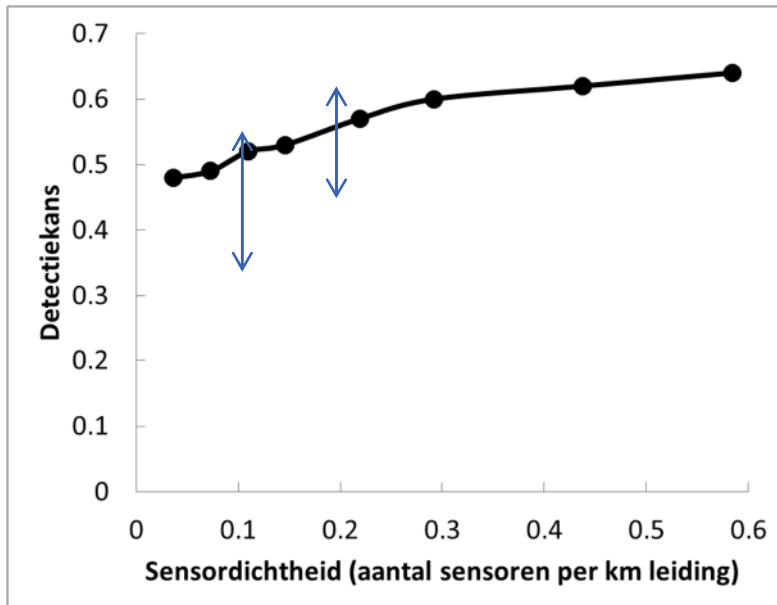
Optimale sensornetwerkconfiguraties zijn berekend voor netwerken met 10 tot 160 sensoren. Drie voorbeelden van geoptimaliseerde configuraties tonen dat de sensoren min of meer homogeen over het netwerkgebied zijn verspreid (Figuur 4-3).



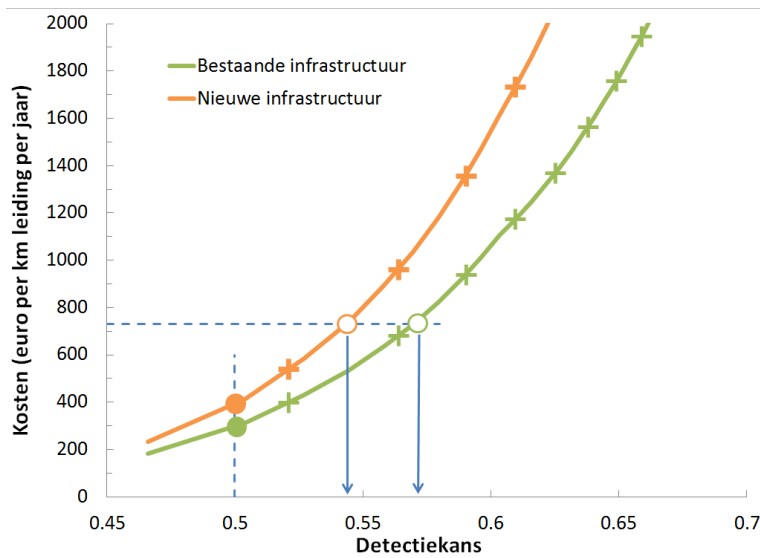
FIGUUR 4-3. LEIDINGNETMODEL NIJMEGEN MET NETWERKEN VAN 40 (PAARS), 80 (LICHTBLAUW) EN 160 (DONKERBLAUW) SENSOREN. DE SENORLOCATIES ZIJN GEOPTIMALISEERD VOOR MAXIMALE DETECTIEKANS VAN GESIMULEERDE VERONTREINIGINGEN DOOR MINIMAAL ÉÉN SENSOR.

De berekende detectiekansen voor geoptimaliseerde sensornetwerken uit TKI INTEREST zijn aangevuld met nieuwe berekeningen en getoond in. Hierin is te zien dat berekende detectiekans toeneemt met de sensordichtheid (gemiddeld aantal sensoren per kilometer leiding). Het afvlakken van de curve weerspiegelt dat meeropbrengsten afnemen naarmate meer sensoren worden ingezet. Andere netwerken zullen anders

presteren afhankelijk van hoe makkelijk ze zijn te bemeten. Om dit te illustreren is de variatie van vier andere Nederlandse netwerken aangegeven met de blauwe pijl in de figuur (bewerking van resultaten uit TKI INTEREST).



FIGUUR 4-4. DETECTIEKANS ALS FUNCTIE VAN DERCICHTHEID PER KILOMETER LEIDING VOOR EEN NETWERK VAN WATERKWALITEITSENSOREN VOOR DISTRIBUTIENETWERK VAN NIJMEGEN. DE RONDE SYMBOLEN REPRESENTEREN (VAN LAAG NAAR HOOG) DETECTIEKANSSEN VOOR EEN AANTAL VAN 10, 15, 20, 30, 40, 80, 120 EN 160 SENSOREN. BLAUWE PIJLEN GEEFT DE VARIATIE IN PRESTATIES WEER VOOR 4 ANDERE DISTRIBUTIENETWERKEN.



FIGUUR 4-5. PRESTATIE-INVESTERINGRELATIES VOOR SENSORNETWERKEN VAN VERSCHILLENDE GROOTTE, BEREKEND VOOR DE STAD NIJMEGEN VOOR INSTALLATIE VAN SENSOREN OP (GROENE CURVE) BESTAANDE OF (ORANJE CURVE) NIEUW IN TE RICHTEN MEETLOCATIES. KRUISJES GEVEN DE SENSORDICHTHEID WEER, OPLOPEND VAN 0,1 TOT 0,4 SENSOREN PER KM LEIDINGLENGTE (GROEN) EN 0,1 TOT 0,8 SENSOREN PER KM (ORANJE). ONDERBROKEN LIJNEN GEVEN (HYPOTHETISCHE) RANDVOORWAARDEN VAN EEN WATERBEDRIJF WEER. CIRKELS TONEN BIJBEHORENDE OPTIMALE INVESTERINGSSCENARIO'S (OPEN CIRKELS) INVESTERINGSNIVEAU VAN €730 PER KM LEIDINGNET PER JAAR OF (DICHTER CIRKELS) DETECTIEKANS VAN HET SENSORNETWERK GROTER DAN 50%.

Door de opbrengsten te combineren met het kostenmodel zijn prestatie-investeringscurves opgesteld (Figuur 4-5). Met deze relaties kan worden bepaald welk sensornetwerk het best past bij financiële of operationele randvoorwaarden. Hieronder worden daarvan 2 voorbeelden gegeven.

Een bedrijf kan bijvoorbeeld stellen om niet meer dan €200.000,- per jaar uit te willen geven aan een sensornetwerk. Uitgaande van een totale leidinglengte van 274 km komt dit overeen met €730 per km leiding (zie de horizontale blauwe lijn in). Met de prestatie-investeringsrelaties is dan de verwachte detectiekans voor deze investeringsscenario's te bepalen: 54% respectievelijk 57% voor installatie van sensoren op bestaande nieuwe, danwel bestaande locaties⁴ (aangegeven met de pijlen in). Uit de prestatie-investeringscurves is ook de sensordichtheid te bepalen en na vermenigvuldiging van de totale leidinglengte het totaal aantal sensoren: 57 of 42 afhankelijk voor installatie op bestaande respectievelijk nieuwe locaties, zie Tabel 3. Met de sensordichtheid zijn de resultaten te vertalen naar andere netwerken met afwijkende leidinglengte, met als voorbehoud dat prestaties enigszins leidingnet-afhankelijk zijn zoals in Figuur 4-4 aangegeven.

TABEL 3. VOORBEELD 1 VOOR SENSORNETWERKINRICHTING MET BEHULP VAN PRESTATIE-INVESTERINGSRELATIES, UITGAANDE VAN EEN FINANCIËLE RANDVOORWAARDE VAN 200.000 EURO PER JAAR.

| | Aantal sensoren | Sensordichtheid (aantal sensoren / kilometer leiding) | Detectiekans | Kosten (€ per kilometer leidingnet per jaar) |
|--|-----------------|--|--------------|--|
| Installatie op bestaande locaties | 57 | 0,21 | 57% | 730 |
| Installatie op nieuwe in te richten locaties | 42 | 0,15 | 54% | 730 |

Ook kan een bedrijf als eis hebben dat ten minste 50% van de optredende incidenten moeten worden gedetecteerd. In dat geval is met de prestatie-investeringsrelaties te bepalen wat de kosten per jaar per kilometer leidingnet en de sensordichtheid zijn. Door de sensordichtheid te vermenigvuldigen met de totale leidinglengte (274 kilometer) is het aantal sensoren te bepalen (19 stuk, onafhankelijk van installatiemethode), zoals af te lezen in Tabel 4. Met gebruik van het kostenmodel zijn vervolgens bijbehorende gemiddelde jaarlijkse investeringen te bepalen: k€82 en k€101 per jaar voor installatie op bestaande respectievelijk nieuwe sensorlocaties.

TABEL 4. VOORBEELD 2 VOOR SENSORNETWERKINRICHTING MET BEHULP VAN PRESTATIE-INVESTERINGSRELATIES, UITGAANDE VAN EEN OPERATIONELE RANDVOORWAARDE VAN EEN DETECTIEKANS VAN 50%.

| | Aantal sensoren | Sensordichtheid (aantal sensoren / kilometer leiding) | Detectiekans | Kosten (€ per kilometer leidingnet per jaar) |
|--|-----------------|--|--------------|--|
| Installatie op bestaande locaties | 19 | 0,07 | 50% | 300 |
| Installatie op nieuwe in te richten locaties | 19 | 0,07 | 50% | 368 |

⁴ Zoals eerder aangegeven is in de berekeningen geen rekening gehouden met een te verwachten suboptimale prestatie voor het geval dat sensoren op bestaande locaties worden geïnstalleerd.

Hoewel we ons in dit onderzoek beperken tot een specifiek geval (Nijmegen, doelstelling detectiekans, en EventLab sensoren), is deze methode toe te passen voor andere gebieden, doelstellingen en sensortypes. Voor een juiste berekening van prestaties van het sensornetwerk is een accuraat leidingnetmodel nodig, omdat afwijkingen in leidingnettopologie, verbruikspatronen of afsluiterstanden een vertekend beeld van de werkelijkheid geven.

De volgende stap van monetaisering van opbrengsten is niet triviaal. Zo is het lastig om een goede inschatting te maken van de potentiële reductie van risicokosten gerelateerd aan beperking van gezondheidsrisico's voor infrequente waterkwaliteitsincidenten waarvoor weinig praktijkgegevens beschikbaar zijn. Tevens moeten bedrijfsspecifieke aspecten in kaart worden gebracht, zoals de potentiële effecten van incidenten (via bijvoorbeeld effectcategorieën van aansluitingen) en de responsnelheid en -strategie van het waterbedrijf in geval van een sensoralarm.

In principe kunnen sensormetingen (deels) monsternamen- en labkosten vervangen in het voldoen aan de wettelijk vereiste monitoring en daarmee een kostenbesparing opleveren. Hiervoor zal echter eerst voldoende ervaring en zekerheid met sensormetingen moet worden opgebouwd. Mogelijk financieel voordeel wordt daarom slechts aangemerkt als een lange-termijn perspectief.

4.5 Samenvattend

In dit deelonderzoek is gebruik gemaakt van resultaten uit aanpalend onderzoek (TKI INTEREST, (Van Summeren, 2016)) wat is aangevuld met nieuwe resultaten. Met de gevolgde methode zijn prestaties en kosten (detectiekans van een mogelijke waterkwaliteitsverontreiniging) van een geoptimaliseerd sensornetwerk gekwantificeerd. De berekende prestatie-investeringsrelaties zijn scenario-specifiek (leidingnet van Nijmegen, pakkans als doelstelling, EventLab sensoren), maar bieden bij afwezigheid van voldoende praktijkgegevens een hulpmiddel om een onderbouwde inschatting te maken van de meerwaarde van een sensornetwerk voor operationele doeleinden.

5 Synthese

5.1 Meervoudige toepassing als succesfactor

Zoals besproken in §1.6 is een belangrijke succesfactor van een sensornetwerk de mate waarin het meerdere doelen tegelijk kan dienen, zodanig dat de kosten van het netwerk kunnen worden gedeeld en de som aan de opbrengstenkant groter wordt. In hoofdstukken 2 t/m 4 zijn drie doelstellingen, op verschillende hiërarchische niveaus, nader uitgewerkt, te weten

1. behoud/versterken van klantvertrouwen (strategisch);
2. verbeteren systeemkennis (tactisch);
3. detectie van kwaliteitsafwijkingen (operationeel).

In dit hoofdstuk wordt beschouwd in welke mate deze doelstellingen met één enkel netwerk zouden kunnen worden gerealiseerd. Ook wordt geschetst hoe zo'n netwerk er uit zou kunnen zien, en wordt de basis gelegd voor een inschatting in welke mate er inderdaad kostenefficiëntie gerealiseerd kan worden. Vooral nog is er niet voldoende informatie beschikbaar om deze inschatting kwantitatief uit te werken. Ten slotte worden het perspectief van de in dit rapport gekozen benadering en de openstaande vragen besproken.

Hoewel het in Hoofdstuk 2 niet mogelijk is gebleken vast te stellen of het hebben van een sensornetwerk daadwerkelijk bijdraagt aan het behouden of versterken van klantvertrouwen m.b.t. de kwaliteit van het drinkwater, wordt deze doelstelling in de rest van dit hoofdstuk wel meegenomen in de beschouwing, met dit voorbehoud in het achterhoofd.

5.2 Samenstelling van sensornetwerk

Doelstellingen 1 en 3 gaan over incidentdetectie met betrekking tot de waterkwaliteit. Deze vereisen dus waterkwaliteitsensoren die chemische of microbiologische verontreinigingen in relevant lage concentraties kunnen detecteren. Dit kunnen generieke sensoren zijn die veel verschillende afwijkingen kunnen detecteren (zoals bijvoorbeeld de Eventlab van Optiqua), specifieke sensoren (zoals bijvoorbeeld de BACTcontrol van microLAN), of een combinatie van meerdere soorten. Wanneer doelstelling 3 gericht is op specifieke waterkwaliteitsafwijkingen, kunnen specifieke sensoren volstaan. In het geval algemene kwaliteitsbewaking wordt nagestreefd, moet een generiek sensortype op zijn minst deel uitmaken van het netwerk. Dit kan desgewenst worden aangevuld met een of meerdere typen specifieke sensoren voor specifieke waterkwaliteitsafwijkingen die het grootste risico opleveren (Tabel 5).

Om aan doelstelling 1 te voldoen, is het mogelijk niet voldoende om één of enkele specifieke parameters te meten (een specifieke stof of een specifieke pathogeen), maar komen de eisen overeen met die voor algemene waterkwaliteitsbewaking binnen doelstelling 3 (generiek plus desgewenst enkel- of meervoudig specifiek, Tabel 5).

De benadering van doelstelling 2 vergt het samenbrengen van verschillende typen metingen en dus verschillende sensoren, waarbij het noodzakelijk is dat er processen optreden in het distributienetwerk (hetzij natuurlijke processen, hetzij al dan niet door het waterbedrijf veroorzaakte verstoringen) die resulteren in een signaal op meerdere typen sensoren (Tabel 5). Dat generieke waterkwaliteitssensoren een relevante bijdrage kunnen leveren in een dergelijke mix is reeds in de praktijk aangetoond in de Proeftuin van Vitens, waar bij een groot lek op 12 maart 2013 niet alleen druk- en volumestroommetingen afwijkende waarden vertoonden, maar ook de Eventlabs vanwege troebelheid ten gevolge van de opwerveling van sediment in de leidingen (Bendert de Graaf, persoonlijke communicatie). Hoewel nog niet aantoonbaar, is het tevens aannemelijk dat betere kennis van het systeem en processen in het leidingnet uiteindelijk het klantvertrouwen zal dienen (doelstelling 1, Hoofdstuk 2).

TABEL 5: OVERZICHT VAN DOELSTELLINGEN EN VEREISTEN AAN HET BIJBEHORENDE SENSORSYSTEEM.

| Doelstelling | 1 | 2 | 3a | 3b |
|---|--|--|--|--|
| | <i>behoud/versterken klantvertrouwen</i> | <i>verbeteren systeemkennis</i> | <i>detectie van waterkwaliteits- afwijkingen (specifiek)</i> | <i>detectie van waterkwaliteits- afwijkingen (generiek)</i> |
| benodigde sensor(en) | generieke waterkwaliteitssensor voor detectie, geen identificatie | combinatie van verschillende typen, interessante combinaties volgen uit de methodiek | specifieke waterkwaliteits- sensoren, detectie en identificatie door specificiteit | generieke waterkwaliteitssensor voor detectie, geen identificatie |
| eventuele aanvullende sensor(en) | specifieke waterkwaliteits- sensoren, detectie en identificatie door specificiteit | vrij | - | specifieke waterkwaliteits- sensoren, detectie en identificatie door specificiteit |

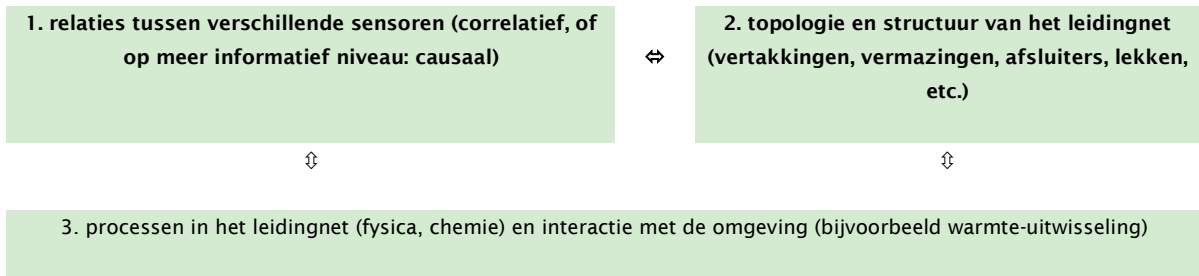
5.3 Kosten en opbrengsten

Voor de derde doelstelling is een voorbeeld van een concrete uitwerking van de kosten van een sensornetwerk als functie van de gewenste opbrengst (detectiekans) beschikbaar, zie Hoofdstuk 4, in ieder geval voor dit specifieke netwerk. Wanneer wordt verondersteld dat een onder doelstelling 3 voldoende hoog geachte detectiekans van waterkwaliteitsafwijkingen volstaat om het klantvertrouwen onder doelstelling 1 te behouden dan wel te versterken, is hiermee ook een kostenbasis voor de eerste doelstelling beschikbaar.

De opbrengsten m.b.t. doelstelling 3 zijn hiermee ook gekwantificeerd in termen van opbrengsten. Het moneteriseren hiervan hangt af van bedrijfsspecifieke keuzes en kan op verschillende (mogelijk elkaar aanvullende) manieren worden benaderd:

- Via een risicomatrixbenadering waarin de reductie van de kans op gezondheidsrisico's onder consumenten (zoals bepaald met behulp van rekenmethoden voor infectierisico's die in QMRA worden toegepast) wordt vermenigvuldigd met de financiële waardering die hieraan binnen het waterbedrijf wordt toegekend. Hierbij herhalen we het voorbehoud uit §4.4 dat moneteriseren niet triviaal is vanwege de beperkte beschikbaarheid van gegevens om effecten (en beperking daarvan) goed in te schatten;
- Via een reductie van monstername- en labkosten wanneer de sensormetingen (deels) de wettelijk vereiste monitoring kunnen overnemen (in afstemming met toezichhoudende instanties). Hierbij herhalen we het voorbehoud uit §4.4 dat het om een nog onzeker toekomstperspectief gaat.

Voor doelstelling 2 gaat het om het vergroten van kennis en begrip van het systeem. Deze kunnen op niveaus worden beschouwd:



In dit rapport zijn niet al deze interacties onderzocht. De focus ligt op de vraag hoe de informatie op niveau 1 kan worden ingezet om informatie op met name niveau 2 en in mindere mate ook niveau 3 te verkrijgen. Om daadwerkelijk kosten en baten te kunnen kwantificeren als functie van een of meerdere kennisniveaus, is een generalisatie, verdieping en uitwerking van methodieken om het systeem te analyseren en/of te reconstrueren uit sensordata gewenst. De verwachting is echter dat met die kennis, gericht en effectiever de informatie van sensoren kan worden benut voor het oplossen van allerlei operationele en/of strategische kwesties door stuur-, onderhouds- en beheersmaatregelen beter in te richten. Voorbeelden in kwestie lopen uiteen van de reconstructie van afsluiterstanden, lekdetectie, reconstructie van stroomrichtingen, relaties tussen verschillende gedetecteerde stoffen, (watermatrix)profielen of biologische indicatoren tot sensorplaatsing en/of verbeterde sensorfoutdetectie. Een uitdaging hierbij is om met een methode een minimale grootte en configuratie van het sensornetwerk te kunnen bepalen die voldoende informatie geeft om een of meerdere van deze operationele of strategische kwesties te kunnen aanpakken.

De beschikbare mate van uitwerking van kosten en meetopbrengsten is voor doelstelling 2 dus nog niet op hetzelfde niveau. Deze doelstelling kan worden gediend met een brede waaier aan typen sensoren met bijbehorende specifieke kostenplaatjes. In welke mate de systeemkennis toeneemt door toepassing van welke combinatie van sensoren moet nog nader worden uitgewerkt. Voor specifieke combinaties kunnen wellicht vergelijkbare kosten-opbrengstenrelaties worden opgesteld als bij doelstelling 3 is gebeurd. Ook hierbij is de volgende stap dan om de meetopbrengsten te monetariseren. Verschillende aspecten kunnen dan als positieve bijdrage op de balans terechtkomen:

| directe opbrengst (meetresultaat) | indirecte opbrengst (financieel/operationeel) |
|--|--|
| betere interpretatie van sensordata | grotere bijdrage aan het directe doel van de sensoren |
| betere detectie/lokalisatie van lekken | verminderd lekverlies |
| correcte stand van de afsluiters | snellere afsluiting van secties bij werkzaamheden snellere afsluiting van secties bij calamiteiten, waardoor reductie effect (omvang, ernst) en versnellen van herstel minder onbedoelde OLM tijdens spuien en andere geplande werkzaamheden |
| detectie van niet-functionerende sensoren | draagt bij aan bovenstaande punten |

Naast bovengenoemde investeringen brengen de implementatie en het gebruik van een sensornetwerk ook organisatorische en aanvullende technische investeringen met zich mee. Deze bevinden zich op het gebied van expertise (toepassing van de methoden en duiding van de resultaten) en ICT-infrastructuur (data-management, etc.).

5.4 Compatibiliteit en haalbaarheid

Het samenbrengen van verschillende functies in een enkel systeem vereist de mogelijkheid van het systeem om elk van deze functies te kunnen uitvoeren. In de in het voorgaande uitgewerkte combinatie van functies is dit inderdaad het geval. Dit is evident voor de doelstellingen op het strategische en operationele niveau: een complete detectie van verontreinigingen beschermt op de korte termijn de klant (operationeel) en potentieel op de langere termijn het klantvertrouwen (strategisch) met precies dezelfde metingen en sensoren (uitgaande van de veronderstelling dat betere detectie inderdaad bijdraagt tot een vergroting van het klantvertrouwen – wij wijzen hier nog even over het gebrek aan consensus omtrent deze veronderstelling, zie Hoofdstuk 2).

Voor de gekozen doelstelling op het tactische niveau is er geen op zichzelf staande noodzaak voor toepassing van de specifieke sensoren van het operationele en strategische niveau, maar ook geen belemmering. Voor dit tweede niveau geldt dat een diversiteit aan sensortypen naar verwachting de opbrengst op kennisniveau zal vergroten. Deze verwachting is met een literatuurstudie en een eerste methodische opzet onderbouwd in Hoofdstuk 3, maar vergt nader onderzoek voor generalisering en kwantificering ervan. In welke mate de waterkwaliteitssensoren die voor de overige twee niveaus worden gebruikt hier een bijdrage aan leveren, is op dit moment nog niet onderzocht. Een nadere doorrekening door toepassing van de gepresenteerde methodiek zal hier op kwantitatieve wijze uitsluitsel over geven.

5.5 Perspectief en openstaande vragen

De oorspronkelijke stelling van Kroll en King (2010) dat meervoudige toepassing van een sensornetwerk de kostenefficiëntie ervan doet toenemen ligt erg voor de hand, maar is daarom niet minder waardevol. De uitwerking van het meervoudigheidsconcept in dit rapport laat zien dat het kwantificeren van het kostenvoordeel vooralsnog niet triviaal is. Dit geldt eveneens voor de kosten-batenanalyse van sensornetwerken in bredere zin (zie ook Van Thienen et al., 2014). Desalniettemin is hier wel een basis voor gelegd voor in ieder geval twee van de drie beschouwde doelstellingen in de vorm van een relatie tussen kosten en indirecte meetopbrengsten. Met de – bedrijfseigen – vertaalslag van deze opbrengsten naar een financiële opbrengst kan hiermee een business case worden opgesteld.

De methodiek die in dit rapport is voorgesteld voor de beschouwing van doelstelling 2, de vergroting van de systeemkennis, is nieuw binnen deze context. De uitwerking in dit rapport is zodanig dat toepassing op een concrete verzameling sensoren de volgende logische stap is. Deze toepassing geeft inzicht in de toename van de systeemkennis als functie van (aantal en type) toegepaste sensoren. Wanneer hier vervolgens het prijskaartje (aanschaf, toepassing, onderhoud sensoren, en toepassing methodiek) van de betreffende sensoren wordt gekoppeld en de financiële consequenties van fout-positieve en fout-negatieve bepaling zijn ingeschat, is ook voor deze doelstelling, in ieder geval voor de onderzochte combinaties van sensoren, de relatie tussen kosten en opbrengst beschikbaar die na de monetariseringslag de basis kan vormen voor een businesscase voor dit aspect. Belangrijk hierbij is ook of de gevoeligheid van de methodiek voor de accuratesse van het onderliggende model is vast te stellen.

Concluderend kan worden gesteld dat de meervoudige toepassing van sensornetwerken zeker perspectief biedt vanuit de kosten- en opbrengstenkant. Dit rapport biedt hierbij handvatten voor het realiseren van dit perspectief, zonder een eindantwoord te bieden. Hiervoor staan namelijk nog veel vragen open. Hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van openstaande vragen met suggesties voor oplossingsrichtingen.

| | Openstaande vraag | Oplossingsrichting |
|----|--|---|
| 1. | In hoeverre kan een sensornetwerk daadwerkelijk bijdragen aan het behouden dan wel versterken van het klantvertrouwen? Welke concrete handelingsopties heeft een waterbedrijf om het klantvertrouwen daadwerkelijk kan toe te laten nemen? | Onderzoek met klanten, workshop met waterbedrijven |
| 2. | Vergen doelstelling 1 (behoud/versterken van klantvertrouwen) en algemene waterkwaliteitsbewaking binnen doelstelling 3 (detectie van waterkwaliteitsafwijkingen) eenzelfde dichtheid van het sensornetwerk? | Doorrekenen op basis van het antwoord op vraag 1. |
| 3. | Hoe kan de ontwikkelde methodiek voor doelstelling 2 verder worden gegeneraliseerd? | Verdere uitwerking methodiek Hoofdstuk 3 |
| 4. | Hoe varieert de opbrengst in termen van systeemkennis als functie van het aantal en de typen sensoren die worden toegepast. | Toepassing methodiek Hoofdstuk 3 |
| 5. | Hoe kan de minimale grootte en configuratie van een sensornetwerk worden bepaald die voldoende informatie geeft om een specifieke operationele of strategische kwesties te kunnen adresseren? | Verdere uitwerking methodiek Hoofdstuk 5 |
| 6. | (Hoe) kan klantbescherming middels sensormetingen worden gemonetariseerd? | Nader uitwerken methodiek Hoofdstuk 4 in samenspraak met waterbedrijven |
| 7. | Hoe kan een verbeterde systeemkennis worden gemonetariseerd? | Analyse gebruik betreffende kennis in bedrijfsvoering |

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Algemene conclusies

Netwerken van waterkwaliteitssensoren die gelijktijdig meerdere doelen dienen, kunnen mogelijk tot hogere opbrengsten en kostenefficiëntie van investeringen leiden. In dit project zijn de mogelijke meerwaarde en investeringen van een meervoudig toepasbaar sensornetwerk geïnventariseerd. Op basis van drie uitgewerkte toepassingen en een synthese van de resultaten is het volgende te concluderen:

- De uitwerking van het meervoudigheidsconcept in dit rapport laat zien dat het kwantificeren van het kostenvoordeel vooralsnog niet triviaal is. Dit geldt eveneens voor de kosten-batenanalyse van sensornetwerken in bredere zin. Het meervoudig toepassen van sensornetwerken biedt een reëel perspectief op het verhogen van opbrengsten ten opzichte van de kosten. Dit project biedt handvatten voor het realiseren van dit perspectief van meervoudige toepassing van sensornetwerken. Hoewel dit onderzoek geen concreet eindantwoord biedt, is met de uitwerking van drie toepassingen op verschillende hiërarchische niveaus in de bedrijfsvoering (strategisch, tactisch en operationeel) aannemelijk gemaakt dat de toepassingen elkaar (deels) aanvullen. Voor in ieder geval twee van de drie beschouwde doelstellingen een basis gelegd voor een kosten-baten analyse in de vorm van een relatie tussen kosten en meetopbrengsten.
- Of op strategisch niveau een sensornetwerk daadwerkelijk zal bijdragen aan het klantvertrouwen, en via welke mechanismen, bestaat bij experts van waterleidingbedrijven geen consensus. Het kwantificeren van opbrengsten is derhalve nu nog niet mogelijk en het is de vraag of kwantificering überhaupt een haalbaar doel is.
- Er is een binnen de drinkwatersector nieuwe methode uitgewerkt waarmee sensornetwerken kunnen worden ingezet voor het vergroten van systeemkennis (tactisch niveau). Een diversiteit aan sensoren zal naar verwachting de opbrengst (systeemkennis) vergroten. De uitwerking in dit onderzoek biedt het perspectief om met een sensornetwerk de systeemkennis (over bijvoorbeeld afsluiterstanden of volumestromen) te vergroten en in te zetten voor financieel of operationeel interessante doeleinden zoals het beperken van lekverlies of snelle afsluiting van secties.
- Op operationeel niveau is met een concrete uitwerking van kosten als functie van opbrengsten uit aanpalend onderzoek een investeringsrelatie beschikbaar gekomen voor een sensornetwerk (voor de stad Nijmegen) gericht op detectie van waterkwaliteitsafwijkingen ten behoeve van klantbescherming. Wanneer wordt verondersteld dat een voldoende hoog geachte detectiekans van waterkwaliteitsafwijkingen volstaat om het klantvertrouwen onder doelstelling 1 (behoud klantvertrouwen) te behouden of te versterken, is hiermee ook een kostenbasis voor de eerste doelstelling beschikbaar.

6.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De uitwerking van het meervoudigheidsconcept in dit rapport laat zien dat het kwantificeren van het kostenvoordeel niet triviaal is. Voordat dit concept kan worden toegepast voor praktijksituaties dienen eerst een aantal openstaande vragen te worden beantwoord. Daarvoor worden de volgende aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan:

- Voor het aanvullen van aanwezige inzichten in de invloed van sensormetingen op de beleving en beoordeling van drinkwatervoorziening door klanten, wordt onderzoek *met* de klant aanbevolen. Een enquête onder klanten kan het inzicht vergroten in hoe klanten de drinkwatervoorziening beleven en beoordelen. Vanwege het subjectieve en gevoelsmatige karakter van vertrouwen is aan te raden om aansluitend een focusgroep met een klein aantal respondenten te organiseren om enquêteresultaten nader te duiden en van betekenis te voorzien. Op basis van het klantenonderzoek en resultaten van het voorliggende rapport kan vervolgens worden gezocht naar concrete handelingsopties en mogelijkheden voor waterleidingbedrijven om het klantvertrouwen daadwerkelijk te vergroten. Het is

aan te raden hiervoor een interactieve workshop te organiseren met drinkwaterprofessionals op het gebied van management, strategie, operatie en communicatie en KWR onderzoekers.

- Voor de doelstelling om systeemkennis te vergroten (tactisch niveau) wordt aanbevolen om de ontwikkelde methodiek om informatiestromen te reconstrueren nader uit te werken:
 1. Uitwerking van het PC-algoritme in Python, of de huidige basis (model voor datageneratie van volume-stroom en drukdata) porteren naar R;
 2. Analyse van de gereconstrueerde grafen en waar nodig de theorie versterken, of anders definiëren van het systeemmodel zodat verschillende probleemkwesties met eenzelfde raamwerk kunnen worden opgelost;
 3. Het uitwerken van verschillende testcondities (variatie in signalen, aantal sensoren) en scenario's (verschillende leidingnetwerkconfiguraties, simulaties in sensorfouten);
 4. De uitkomsten in stap 3 evalueren.

Hiermee kan worden toegewerkt naar het bepalen van opbrengsten (systeemkennis) in de praktijk als functie van het aantal en type sensoren in het netwerk. Om de opbrengst te monetariseren kan het gebruik van de systeemkennis in de bedrijfsvoering worden geanalyseerd. Samen met een kostenmodel voor de toe te passen sensoren kan een business case benadering worden opgesteld.

- Voor de doelstelling om het inzicht in de waterkwaliteit te vergroten, wordt aanbevolen om met experts van de drinkwaterbedrijven mogelijkheden te onderzoeken voor het kwantificeren —en mogelijk monetariseren— van opbrengsten (betere bewaking van klanten) van een sensornetwerk. Hoewel niet triviaal, is reductie van waterkwaliteitsrisico's in principe in te schatten op basis van sensornetwerkprestaties (bijv. tijdige detectie van waterkwaliteitsafwijkingen), inschattingen van frequenties en gevolgen van een incident en de responsstrategie van het bedrijf. Ook kan worden geïnventariseerd in hoeverre en op welke termijn sensormetingen bestaande monitoringsstrategieën (deels) zouden kunnen vervangen en of dit uiteindelijk tot financiële voordelen zal leiden bij gelijkblijvende borging van de waterkwaliteit.

Bijlage I Verslag BTO Workshop Implementatievisie(s) Sensoring

Op 1 april 2015 is door KWR in Nieuwegein een workshop georganiseerd rond het thema "implementatievisies sensing".

Belangrijkste constatering(en)/ (actie)punten uit de workshop:

- Voor het bedenken en realiseren van implementatievisies voor sensing, dienen waterbedrijven en laboratoria hun doelstellingen te concretiseren en waar mogelijk te kwantificeren.
- Parallel hieraan geven waterbedrijven en laboratoria aan dat er ruimte voor KWR is hen proactief te voorzien van advies over (on)mogelijkheden van sensing; KWR kan het opstellen van doelen inhoudelijk ondersteunen door mogelijke toekomst(en) te schetsen, kritische overzichten van technologische en modelmatige mogelijkheden aan te reiken en hierin kennisgedreven keuzes voor te stellen aan de waterbedrijven.
- KWR beoogt aldus een proactieve(re) rol te spelen, enerzijds m.b.t. het 'prikkel(en)' van drinkwaterbedrijven en laboratoria om te komen tot concretere doelstellingen en anderzijds m.b.t. het presenteren en aantonen van mogelijkheden van (diverse typen) sensing en randvoorwaarden voor implementatie hiervan.

Aanwezigen

- | | | | |
|-----------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| • Roger de Rooij | - PWN | • Ruud Steen | - HWL |
| • Ad de Waal Malefijt | - Dunea | • Bernd Kroon | - Aqualab Zuid |
| • Alex van der Helm | - Waternet | • Auke Kronemeijer | - KWR (organisatie) |
| • Leo de Waal | - Brabant Water | • Peter van Thienen | - KWR (organisatie) |
| • Gerhard Wubbels | - WLN | • Chris Büscher | - KWR (facilitator) |

Introductie

In verschillende werkvormen is de middag vormgegeven op basis waarvan de deelnemers hebben getracht om de overkoepelende bedrijfsvisies naar concretere bedrijfsdoelen en de mogelijke meerwaarde van sensing binnen deze doelen te vertalen. De middag is dan ook grotendeels vormgegeven aan de hand van deze drie onderwerpen (i) bedrijfsvisies, (ii) toekomstscenario's concretiseren om doelen binnen de visies vast te stellen en (iii) de mogelijke meerwaarde van sensing voor deze doelen.

Visies verschillende organisaties

De deelnemers hebben als allereerste stap in het proces om tot concrete toepassingsgebieden van sensing binnen de bedrijven te komen, de algemene langetermijnvisie van hun bedrijf geïntroduceerd. Korte samenvattingen van de visies zijn hieronder weergegeven:

PWN: Paradigmawissel: niet langer steeds hogere kwaliteit tegen steeds lagere kosten maar handhaven van de dienstverlening in de toekomst, consumentenvertrouwen

ALZ: Versterkte adviesrol voor het lab van de toekomst, informatie i.p.v. data aanleveren, van specialisten naar generalisten

BW: Beter te doen voor de klant: operational excellence, onberispelijk water

HWL: Verbetering van waterkwaliteit en belangrijkste kenniscentrum/makelaar hiervoor zijn

WLN: Beter beeld en efficiëntere acties om risico voor volksgezondheid te verkleinen, gelijke tred houden met normenkader

Dunea: Klantvertrouwen en meer inzicht in en voor klanten: risico's en bedrijfsvoering

Waternet: Samen vernieuwen, verduurzamen/circulair handelen, participatiemaatschappij, ICT, informatie als vierde productiefactor

KWR: Aanwezige wetenschappelijk kennis naar de praktijk brengen en kennishiaten opvullen

Toekomstscenario's en Bedrijfsdoelen

Na identificatie van bedrijfsvisies werd getracht de bedrijfsvisies in toekomstscenario's verder te concretiseren. Hoewel specifieke verschillen tussen de verschillende organisaties bestonden concentreerde de gezamenlijk discussie op basis van de verkenningen van mogelijke toekomsten en verschillende rollen van de organisaties zich op onderstaande.

De term klantbescherming was voor veel deelnemers open voor interpretatie. Hoewel klantbescherming hoog moet zijn, moet dit meteen in context van kosten worden gezien. En of kosten hiervan (van bijv. monitoring) gecollectiveerd moeten worden of geprivatiseerd. Volgens de deelnemers mag de sector tegenwoordig duidelijker stellen dat klantbescherming ook ergens ophoudt. Er bestaat een (hoog) beschermingsniveau, maar risico's zijn niet volledig uit te sluiten. De risico's moeten wel open en transparant in context geplaatst en gerelativeerd worden.

Ten grondslag aan het onderwerp klantbescherming liggen optimale monitoring en risicobeheersingsstrategieën. Binnen de monitoring-discussie werd het feit van wettelijke normering ook aangestipt als mogelijk kader voor de klantbescherming. Hier werd over ingebracht dat de sector voor een groot gedeelte de normering zelf (mede-)bepaalt en dat hier dus invloed op uitgeoefend kan worden.

De mate van klantbetrokkenheid lijkt tussen waterbedrijven en -laboratoria in verschillende mate relevant. Laboratoria zien veel in maximale betrokkenheid van consumenten voor bijv. monitoring van de waterkwaliteit, terwijl drinkwaterbedrijven hoge betrokkenheid aanmoedigen tot op een zeker niveau. Het moet voor de drinkwaterbedrijven niet zo zijn dat klanten druk kunnen gaan uitoefenen op bedrijfsvoering, dus de mate waarin klanten kunnen dicteren wat er gebeurt moet in proportie zijn tot de meerwaarde die betrokkenheid kan bieden. Om dit goed te kunnen begeleiden wordt een transparante classificatie van data en informatie voorgesteld, waar de verschillende classificatie-niveaus de rechten op de informatie definiëren welke consumenten kunnen halen en/of brengen.

Klanttevredenheid kan mogelijk met klantbetrokkenheid correleren. Op externe ontwikkelingen in het meer en meer beschikbaar komen van informatie voor consumenten ('slimme meters') moet ingehaakt worden. Consumenten zullen meer openheid gaan vragen en drinkwaterbedrijven moeten hierop ingericht zijn, bijv. bij het in de toekomst verstrekken van mogelijkheden om zelf relevante parameters te kunnen meten als klanten erom vragen. Open discussiepunten omtrent betrokkenheid richtten zich op: Wat is verstandig? Wat verwacht de klant? Wat is de sociale context? Over het algemeen lijkt de conclusie, overeenkomend met de discussie over klantbescherming, dat de sector in het algemeen transparanter mag zijn over het drinkwaterproces.

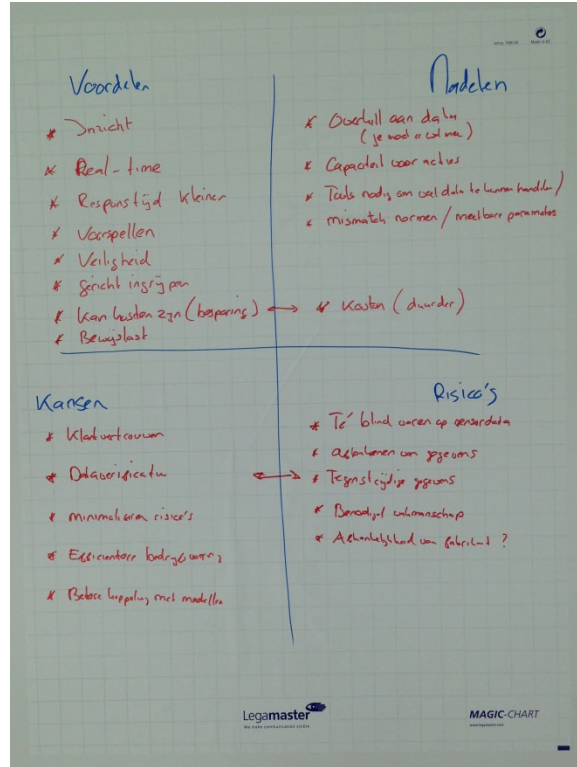
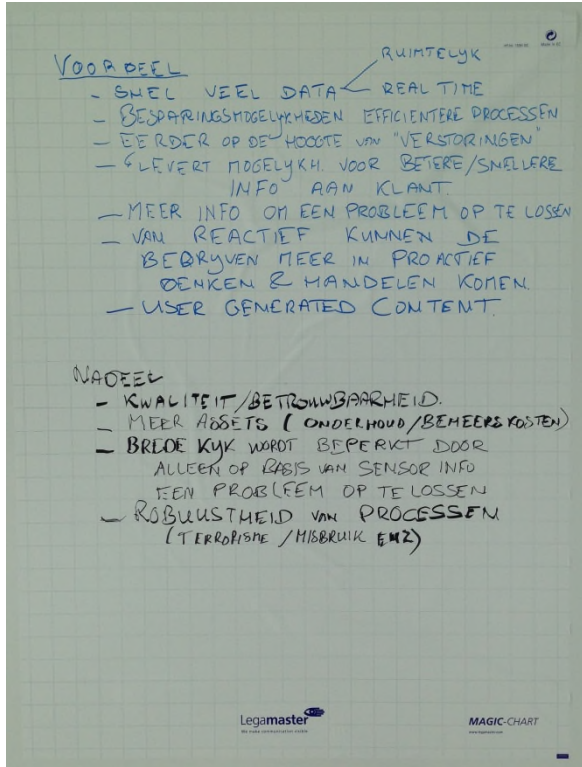
Doelstellingen op het gebied van bijv. klantbescherming en klantbetrokkenheid hebben dus ergens een optimum. Maar hoe kan dit nu gevonden worden en hoe bepalen organisaties in hoeverre ze hiermee daadwerkelijk aan de slag gaan? Er werd tijdens de groepsessies een derde as geïntroduceerd welke de mate van passiviteit, dan wel een actievere houding van waterbedrijven/laboratoria beschrijft.

In het "DNA" van de laboratoria en KWR zit dat zij zich wat actiever bewegen in het aanzwengelen van ontwikkelingen voor de toekomst en het opbouwen van knowhow op toekomstige kennisgebieden (vooral gerelateerd aan waterkwaliteit). In het DNA van de drinkwaterbedrijven zit over het algemeen een wat volgender karakter, waarbij de organisaties soms concrete toekomstvragen in de markt willen stellen en early-adopters van nieuwe oplossingen willen zijn, maar minder actief hiermee bezig zijn dan de laboratoria en KWR. Mogelijkerwijs hebben de bedrijven hierdoor doelen voor de toekomst soms misschien minder concreet voor ogen.

In relatie hiermee wordt genoemd dat KWR hierin niet altijd precies moet doen wat de drinkwaterbedrijven zeggen, maar ook met zijn eigen ideeën moet komen. Er bestaan subjectieve grenzen aan bijv. het onderwerp klantbescherming en de discussie hierover moet gevoerd worden en vanuit verschillende standpunten gevoerd worden.

Rol van Sensoring in de Toekomstscenario's

Om de discussie aan te gaan wat sensing zou kunnen betekenen binnen eerder genoemde zaken in de discussie over toekomstbeelden zijn de voor- en nadelen, kansen en risico's van sensing gezamenlijk geïnventariseerd:



- Voordelen**
- Snel veel data, ruimtelijk en real-time
 - Besparingsmogelijkheden, efficiëntere processen
 - Eerder op de hoogte van 'verstoringen'
 - Mogelijkheden voor betere/snellere info aan de klant
 - Meer informatie om een probleem op te lossen
 - Van reactief kunnen de bedrijven meer in proactief denken en handelen komen
 - User Generated Content

- Nadelen**
- Kwaliteit / Betrouwbaarheid
 - Meer assets (onderhouden / beheerskosten)
 - Brede kijk wordt beperkt door alleen op basis van sensor-informatie een probleem op te lossen
 - Robuustheid van processen (terrorisme / misbruik enz.)

- Voordelen**
- Inzicht
 - Real-time
 - Responstijd verkorten
 - Voorspellen
 - Veiligheid
 - Gericht ingrijpen

- Nadelen**
- Overkill aan data
 - Capaciteit voor acties
 - Tools nodig om veel data te handelen
 - Mismatch normen /meetbare parameters
 - Kosten (duurder)

| | |
|--|--|
| - Kan kosten zijn - Bewijslast | |
| Kansen - Klantvertrouwen - Dataverificatie - Minimaliseren risico's Efficiëntere bedrijfsvoering Betere koppeling met modellen | Risico's - Té blind varen op sensordata - Afbakenen van gegevens - Tegenstrijdige gegevens - Benodigd vakmanschap - Afhankelijkheid van fabrikant? |

Hierna hebben deelnemers persoonlijk voor hun eigen organisatie invulling te geven aan de potentiële meerwaarde van sensing binnen hun gestelde doelen, de tijdshorizon hierbij en welke kennisvragen hier mogelijk uit voort vloeien. Concrete voorbeelden uit deze individuele inventarisaties zijn:

- Klantinzicht en -vertrouwen verhogen:*
- *Informatievoorziening naar de klant in brede zin*
 - *Risico volksgezondheid kennen en delen*
 - *Bevolking geruststellen van de waterkwaliteit*
(bijv. bij terroristische dreiging)
- Optimale / efficiëntere processen:*
- *Optimale monitoring*
 - *Kostenefficiëntie vs. veiligheid*
 - *Ondersteuning voor het aantonen dat*
bedrijfsprocessen stabiel zijn
 - *Voorspellend vermogen*
 - *Asset management (bijv. leidingen in dijken)*

Algemene Discussie en Conclusies

Een selectie van de (on)mogelijkheden, doelstellingen en kennisvragen vanuit de verschillende deelnemers/organisaties aangaande sensing werden als laatste nog plenair bediscussieerd. De deelnemers spraken uit dat ze moeite hadden om 'even in een middag' het onderwerp sensing goed te doorgronden en aansluiting te vinden bij visie en strategie van de eigen organisatie. Er werd gesteld dat waterbedrijven misschien op dit moment visies en strategische doelen niet voldoende concreet en kwantitatief gedefinieerd hebben. Hierdoor is het moeilijk om een richting uit te stippelen voor nieuwe ontwikkelingen (op het gebied van sensing, maar ook andere gebieden in de bedrijfsvoering), het opzetten van business-cases, en het effectief tegen elkaar kunnen afzetten van verschillende bedrijfsdoelen om tot een goede combinaties van acties te komen die op een ideale manier de verschillende doelen verwezenlijken.

Binnen de discussie over doelstellingen werd een voorbeeld van Vitens aangehaald, waarbij Vitens mogelijk beter inzicht, eerder ingrijpen, betere lekdetectie, etc. als mogelijke basisdoelstellingen van het uitgerolde VIP (toekomstig Friesland Live) hebben gedefinieerd. PWN is er van overtuigd dat verdere uitbouw van de VIP relevante informatie gaat verschaffen en is actief aangesloten bij de activiteiten in de VIP. Echter zijn er geen concrete acties uitgezet binnen PWN, omdat PWN hier niet de doelstelling heeft voorop te lopen en dus geen concrete doelen op dit vlak heeft gedefinieerd. Hier komt de discussie nogmaals terug op doelstellingen waarbij geopperd wordt dat Vitens (blijkbaar wel) concrete doelstellingen op dit onderwerp heeft gedefinieerd, zodat concrete acties uitgezet konden worden.

Binnen de discussie kwam naar voren dat de aanwezige waterbedrijven ruimte zien voor KWR, en mogelijk de laboratoria, om een adviserende en meer proactieve rol te pakken in het helpen opstellen en uitwerken van de doelstellingen van de bedrijven, en daarmee samenhangend, in het bedenken en realiseren van implementatievisies voor sensing. Eén idee dat ook werd geopperd was om typen sensoren te groeperen aan de hand van nader te bedenken criteria, en drinkwaterbedrijven en laboratoria daarmee te voeden.

Beschouwing

We kijken terug op een nuttige workshop waarin een aantal zaken duidelijk naar voren gekomen zijn. De deelnemende bedrijven hebben hun doelstellingen (specifiek aangaande sensing) niet geheel duidelijk, waar dit ook niet mogelijk (en verwacht was) binnen een middag. Door de bedrijven is geconstateerd dat dit wel noodzakelijk is voor een goede invulling en verdere uitwerking van het onderwerp. De workshop heeft tot een basis bij de deelnemers geleid dat KWR hier een actieve(re) rol in zou moeten vervullen. KWR zal hierin een tweesporenbeleid ontplooiën waarin (i) ondersteuning voor het concretiseren van doelstellingen op strategisch/tactisch niveau zal worden onderzocht en (ii) inhoudelijke voeding vanuit toegepast wetenschappelijk onderzoek zal worden vormgegeven.

Als start zal KWR de resultaten van de workshop en de individuele feedback doelen de verschillende organisaties nader onder de loep nemen. Op basis hiervan zet KWR verdere acties uit en geeft het vervolg aan de invulling van het onderwerp sensing. Dit kan al als concrete inbreng in een lopend BTO project (Kostenefficiënte Meervoudige Toepassing van Sensornetwerken - KMTS), maar ook in een adviserende rol om verdere uitwerking van toekomstscenario's, bedrijfsvisies en doelstellingen te faciliteren.



Bijlage II Enquête klantvertrouwen

Onderstaande tabel en toelichting vormen de enquête gestuurd aan drinkwaterbedrijven om inzicht te krijgen in de invloed van een sensornetwerk op het klantvertrouwen.

| Scenario | Beschrijving | Kosten | Effect op vertrouwen van getroffen klant | Incident komt voor, dan: | | |
|---|------------------------------------|--------|--|---|-----------------------------|-------------------------|
| | | | | Effect in media (aandacht en boodschap) | | Frequentie (keren/jaar) |
| | | | | DWB heeft geen sensornetwerk | DWB heeft een sensornetwerk | |
| Vb1 - referentie | 1 min OLM/jaar (ongepland) | 0.25 | 1 | 1 | 0.5 | 2.0 |
| Vb2 | beestjes in het water | 0.30 | 3 | 3 | 2 | 0.5 |
| A - referentie | 1 min OLM/jaar (ongepland) | | | | | |
| B | bruinwater | | | | | |
| C | geur/smaak | | | | | |
| D | ziek (mild - niet naar ziekenhuis) | | | | | |
| E | Ziek (ernstig - ziekenhuis/dood) | | | | | |
| Instructies | | | | | | |
| Kosten: indien mogelijk een inschatting van de kosten geven, in verhouding met bv. de kosten van 1 min OLM | | | | | | |
| Effect op vertrouwen van getroffen klant: het incident komt voor, hoe ervaart de klant dit incident in verhouding met 1 min OLM (hoeveel keren erger is het) | | | | | | |
| Effect op media: het incident komt voor, welke aandacht wordt er door de media aan gegeven? En hoe negatief is de boodschap? Is de boodschap anders in | | | | | | |
| Frequentie: hoe vaak zou een dergelijk incident kunnen voorkomen? Denk niet alleen aan het verleden, maar ook aan de kans dat het in de toekomst voor | | | | | | |

TOELICHTING

Het kwantificeren van het klantvertrouwen is geen triviale taak. Meerdere benaderingen zijn denkbaar om deze taak uit te voeren. We hebben gekozen om inzicht te krijgen in het klantvertrouwen door de volgende aspecten in aanmerking te nemen:

- **Scenario's.** Een aantal scenario's met betrekking tot specifieke incident (waterkwaliteit en -kwantiteit) zijn opgesteld. Het achterliggend idee is dat de gevolgen op klantvertrouwen afhankelijk zijn van het incident dat voorkomt, d.w.z., een klant ervaart een korte onderbreking in de levering anders dan een bruinwaterincident of de verspreiding van een besmetting met gevolgen op de gezondheid. Door verschillende scenario's in aanmerking te nemen, kunnen verschillende gevolgen gekwantificeerd worden.
- **Effect op klantvertrouwen.** Het effect op klantvertrouwen wordt gezien als de som van twee componenten:
 - het effect voor de klant die getroffen is door het incident;
 - het effect in de media (imago van het drinkwaterbedrijf, ook bij klanten die niet getroffen zijn door het incident).

Bij de klant kan een incident effect hebben op het comfort (bv. weinig druk, onderbreking in levering), op de perceptie van gezond water (bv. bruin water, geur of smaak aan het water), of op de gezondheid. Het vertrouwen van de klant kan ook zodanig afnemen dat deze overschakelt naar fleswater.

Het effect in de media kan een sterke invloed hebben op het imago van een drinkwaterbedrijf. Het type incident en de omvang hebben invloed op de aandacht dat de media aan het incident besteedt en aan de boodschap dat verspreid wordt. Wat betreft de aandacht, kan gedacht worden van berichten op twitter/facebook, tot een bericht in een lokale krant, of tot een nationaal of internationaal nieuwsbericht. Wat betreft de "toon" van de boodschap kan de media bv. uiten dat

het onaanvaardbaar is dat een dergelijke incidenten niet opgespoord worden, of dat drinkwaterbedrijven al heel veel doen om dergelijke incidenten te voorkomen. De boodschap is daarom waarschijnlijk anders indien het drinkwaterbedrijf wel of niet over een sensornetwerk beschikt.

- **Frequentie.** Hierin wordt gekeken hoe vaak elke scenario kan voorkomen. De frequentie kan worden gebaseerd op historische gegevens en wanneer deze niet beschikbaar zijn op aannames.

INBRENG DRINKWATERBEDRIJVEN

Om het klantvertrouwen te kwantificeren, vragen we aan de verschillende drinkwaterbedrijven de excelsheet in de bijlage in te vullen. De antwoorden worden daarna statistisch behandeld en blijven anoniem.

De volgende scenario's worden in aanmerking genomen:

- Scenario A (referentiescenario): onderbreking in de levering gedurende één minuut (1 min OLM).
- Scenario B: bruinwater incident;
- Scenario C: geur en/of smaakprobleem, zonder gevolgen voor de gezondheid;
- Scenario D: besmetting met milde gevolgen voor de gezondheid (bv. huidirritatie, darmklachten, maar geen nood aan ziekenhuisbezoek);
- Scenario E: besmetting met ernstige gevolgen voor de gezondheid (ziekenhuisbezoek, inclusief sterfgeval).

Voor elk van deze scenario's wordt aan de drinkwaterbedrijven gevraagd om het volgende in te vullen:

- Effect op vertrouwen van getroffen klant in verhouding met 1 min OLM (referentiescenario). De vraag is dus: "Hoeveel erger is het scenario dan het effect van 1 min OLM?" Denk bij het invullen aan de volgende aspecten:
 - comfort;
 - klantperceptie van gezondheidsrisico's;
 - werkelijke gezondheidsrisico's;
 - kans dat klant overstapt naar fleswater?
- Effect in media indien het drinkwaterbedrijf wel of niet over een sensornetwerk beschikt. Denk bij het invullen aan de volgende aspecten:
 - Aandacht: facebook, twitter, lokale/regionaal, nationaal of internationaal nieuwsbericht (TV, radio, krant);
 - Boodschap: hoe negatief kan de boodschap zijn ("incident is onacceptabel", "het kan voorkomen, maar er zou meer aandacht aan moeten worden besteed", etc).
- Frequentie: hoe vaak kan een dergelijk incident voorkomen? Denk bij het invullen niet alleen aan historische gegevens maar ook aan de kans dat het incident in de toekomst voorkomt. De referentie is één keer per jaar.

7 Literatuur

- Berry, J., Carr, R.D., Hart, W.E., Leung, V.J., Phillips, C.A., Watson, J.-P. (2009). Designing contamination warning systems for municipal water networks using imperfect sensors. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(4), 253-263.
- Dahlhaus, R., Eichler, M. (2003). Causality and graphical models in time series analysis. *Oxford Statistical Science Series*, 115-137.
- Dankers, A. G. (2014). System identification in dynamic networks.
- De Graaf, B. R., Williamson, F., Klein Koerkamp, M., Vehoeft, J.W., Wuestman, R., Bajema, B., Trietsch, E., Van Delft, W. (2012). Implementation of an innovative sensor technology for effective online water quality monitoring in the distribution network. *Water Practice & Technology*, 7(4).
- Doria, M. F. (2010). Factors influencing public perception of drinking water quality. *Water Policy*, 12, 1-19.
- Foresti, P. (2007). Testing for Granger causality between stock prices and economic growth. *MPRA Paper*, 2962, 2-8.
- Giustolisi, O., Kapelan, Z., & Savic, D. (2008). Algorithm for automatic detection of topological changes in water distribution networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(4), 435-446.
- Granger, C. W. J. (1980). Testing for causality: a personal viewpoint. *Journal of Economic Dynamics and control*, 2, 329-352.
- Ha, H., Welsh, J. S., Blomberg, N., Rojas, C. R., Wahlberg, B. (2015). Reweighted nuclear norm regularization: A SPARSEVA approach. *IFAC-PapersOnLine*, 48, 1172-1177.
- Hoover, K. D. (2008). Causality in economics and econometrics. *The new Palgrave dictionary of economics*, 2.
- Kalisch, M., Bühlmann, P. (2007). Estimating high-dimensional directed acyclic graphs with the PC-algorithm. *The Journal of Machine Learning Research*, 8, 613-636.
- Kroll, D., King, K. (2010). Methods for evaluating water distribution network early warning systems. *Journal AWWA*, 102(1), 1-11.
- Lozano, A. C., Abe, N., Liu, Y., Rosset, S. (2009). Grouped graphical Granger modeling for gene expression regulatory networks discovery. *Bioinformatics*, 25(12), i110-i118.
- Morgan, D. L. (1998). *The focus group guidebook*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Ostfeld, A., Uber, J.G., et.al. (2008). The battle of the water sensor networks (BWSN): a design challenge for engineers and algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(6), 556-568.
- Pearl, J. (2009). *Causality*. Cambridge University Press.
- Perelman, L., & Ostfeld, A. (2011). Water-distribution systems simplifications through clustering. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(3), 218-229.
- Pieron, M., Brouwer, S. (2015). Van Klantbeleving to handelingsopties: Customer excellence voor assetmanagement bij Vitens (Fase 1): KWR Watercycle Research Institute.
- Preis, A., Ostfeld, A. (2008). Multiobjective contaminant sensor network design for water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134(4), 366-377.
- Rojas, C. R., Toth, R., & Hjalmarsson, H. (2014). Sparse estimation of polynomial and rational dynamical models, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 59(11), 2962-2977.

- Spirtes, P., Glymour, C., Scheines, R., & Tillman, R. (2010). Automated search for causal relations: Theory and practice. *Dietrich College of Humanities and Social Sciences, Carnegie Mellon University*.
- Tangirala, A. K. (2014). *Principles of System Identification: Theory and Practice*: CRC Press.
- Van Summeren, J. e. a. (2016). Investerings en prestaties van sensornetwerken ten behoeve van waterkwaliteitsbewaking - TKI INTEREST: KWR Watercycle Research Institute.
- Van Thienen, P. (2014). Strategieën voor optimale plaatskeuze van waterkwaliteitssensoren in het distributienet: KWR Watercycle Research Institute.
- Van Thienen, P., De Graaf, B., Van de Roer, M., Schaap, P., Sperber, V. (2014). Sensing van waterkwaliteit in het distributienet: een rationele benadering. *H2O-Online*(22 oktober 2014).
- Vertommen, I., Van Thienen, P. (2015). De waarde van klantmeldingen: Alternatieve indicatoren voor waterkwaliteitsproblemen: KWR Watercycle Research Institute.
- Willems, J. C. (2007). The behavioral approach to open and interconnected systems. *Control Systems, IEEE*, 27(6), 46-99.