

## Toepassing van nieuwe sensoren vereist brede samenwerking en gestructureerde discussies

*Haico te Kulve (Universiteit Twente), Auke Jisk Kronemeijer (KWR Watercycle Research Institute)*

Sensoren zijn een veelbelovende optie voor het beheersen en controleren van waterkwaliteit. Innovatie en implementatie van sensoren wordt momenteel belemmerd door onduidelijkheden over prestaties van sensoren en behoeften van gebruikers. Er wordt niet altijd onderscheid gemaakt tussen de verschillende toepassingsgebieden van sensoren, waardoor appels met peren worden vergeleken. Daarnaast zijn er onduidelijkheden over de implementatie van sensoren, bijvoorbeeld over hun acceptatie als wettelijk toegestane monitoringsmethode. In dit artikel stellen wij een indeling in vier hoofdrichtingen van sensortoepassingen voor als leidraad in discussies, en pleiten wij ervoor dat waterbedrijven, onderzoekers en ontwikkelaars ook drinkwaterlaboratoria, toezichthouders en beleidsmakers betrekken in die discussies.

Sensoren voor toepassing in de drinkwatervoorziening zijn in opmars. Al enige tijd worden sensoren gebruikt voor het meten van standaardparameters zoals geleidbaarheid, troebelheid en zuurgraad. Recenter zijn daar sensoren voor *intake monitoring* bij gekomen, zoals biologische sensoren voor het bewaken van de waterkwaliteit bij innamepunten van oppervlaktewater. Daarnaast wordt nu gewerkt aan de ontwikkeling van sensoren voor toepassing in het distributienetwerk. Intelligente systemen die verbruik en kwaliteit in het distributiesysteem continu monitoren (*smart grids*) zijn hier een voorbeeld van. Ook worden sensoren ontwikkeld om de toestand van leidingen te inspecteren om zo te anticiperen op eventuele leidingbreuken of vervuiling aan de wanden van drinkwaterleidingen.

De diversiteit aan toepassingen is mede mogelijk gemaakt door een stroom technologische innovaties. Deze hebben gezorgd voor robuustere sensoren en voor de mogelijkheid meer parameters te meten. Recente ontwikkelingen op het gebied van genomics (e-DNA), microtechnologie (lab-on-a-chip) en nanotechnologie (nanowires) en op het gebied van ict ('big data') blijven nieuwe mogelijkheden bieden voor sensoren en hun toepassingen.

Een van de drijvende krachten achter de toepassing van sensoren is de verwachte bijdrage aan efficiencyverbetering. Toevoeging van chemicaliën of vervanging van filters kan worden geoptimaliseerd of waterinname kan op het juiste moment worden gestopt bij onverwachte verontreinigingen. Ook wordt een bijdrage verwacht aan het verder verbeteren van de beheersing en controle van de waterkwaliteit van drinkwater (waterkwantiteit en asset management worden in dit artikel buiten beschouwing gelaten). De waterkwaliteit wordt nu bepaald via monsternamen en labanalyse. Sensoren kunnen sneller informatie geven, waardoor eerder ingegrepen kan worden bij calamiteiten. Zo kunnen eventuele gezondheidsrisico's (verder) worden beperkt.

Deze ontwikkelingen beloven een gouden toekomst voor de toepassing van sensoren in de drinkwatersector. Het is daarom verrassend dat de daadwerkelijke toepassing relatief beperkt is.

Een recente studie, gefinancierd door de Global Water Research Coalition, concludeerde dat de waterindustrie in het algemeen terughoudend is ten aanzien van het gebruik van sensoren [1]. Redenen hiervoor zijn onder meer

1. dat gebruikers hun behoefte aan real time-metingen niet goed hebben gedefinieerd,
2. dat er onvoldoende inzicht is in de prestaties van sensoren en
3. dat real time-metingen niet goed zijn ingebed in de organisatie van de gebruikers.

Het bepalen van de behoeften voor sensoren is dus cruciaal. Duidelijk gedefinieerde vragen en eisen van gebruikers voor oplossingen van waterkwaliteitsvraagstukken zijn essentieel voor vraaggerichte technologie-ontwikkeling en bijbehorend onderzoek. Echter, onduidelijkheden in de prestaties van (toekomstige) sensoren maken het lastig om de toegevoegde waarde te bepalen en precieze eisen op te stellen. Dit leidt vaak tot het formuleren van algemene eisen of het overvragen van specificaties, en bemoeilijkt gesprekken tussen gebruikers, ontwikkelaars en leveranciers. Wanneer deze partijen terughoudend zijn in het zetten van nieuwe stappen kunnen impasses ontstaan in het innovatieproces [2].

Deze uitdagingen in het innovatieproces van sensoren vormden aanleiding voor een studie naar de dynamiek in dit proces. In het onderzoek is gekeken naar de behoeften binnen de drinkwatersector in Nederland, de overwegingen van diverse belanghebbenden, en de factoren die, op het niveau van de drinkwatersector als geheel, een rol spelen bij het opstellen van eisen. Een belangrijk uitgangspunt hierbij was dat het formuleren van behoeften en eisen ten aanzien van sensoren niet alleen een zaak is van gebruikers, ontwikkelaars en leveranciers, maar dat ook andere spelers in de drinkwatersector, zoals certificerings- en standaardiseringsorganisaties, inspectie en wet- en regelgeving, een rol spelen. Voor het onderzoek zijn onder andere vijftien interviews gedaan met drinkwaterbedrijven, sensorbedrijven en -onderzoekers en (semi-) overheden. Daarnaast is er een stakeholder-workshop '*Sensing Demands*' georganiseerd om actuele en toekomstige ontwikkelingen in kaart te brengen.

### **Behoeften in Nederland boven tafel: vier overkoepelende toepassingsgebieden**

De Nederlandse drinkwatersector biedt diverse mogelijkheden om behoeften omtrent sensoren voor drinkwaterkwaliteit boven tafel te krijgen. Nederlandse drinkwaterbedrijven zijn relatief geconcentreerd, in publieke handen en zijn goed bekend met elkaar. In principe vergemakkelijkt dit de coördinatie tussen gebruikers, ontwikkelaars en leveranciers. Kennisinstituten zoals Wetsus en KWR zijn actief in het coördineren van sensorontwikkeling. Bijeenkomsten zoals de Sensors4Water-conferentie in Assen bieden mogelijkheden voor coördinatie en er zijn diverse regionale en nationale projecten geweest waar Nederlandse sensorbedrijven, drinkwaterbedrijven en kennisinstellingen elkaar hebben gevonden (Safewat, Aquavitaal en SAWA). Daarnaast participeren Nederlandse sensorbedrijven en drinkwaterbedrijven in Europese onderzoeksprojecten.

Deze sensoractiviteiten spelen zich af binnen een sector die streeft naar een uitstekende drinkwaterkwaliteit. Aan de ene kant speelt dit het ontwikkelen en toepassen van sensoren in de kaart. Aan de andere kant zijn de drinkwatervoorzieningen sterk ontwikkeld en is het Nederlandse drinkwater van uitstekende kwaliteit, waardoor de urgentie voor het toepassen van sensoren vermindert. Deze ambivalenties keren ook terug in discussies over behoeften.

Uit de interviews komt naar voren dat er niet alleen een grote variatie is in behoeften ten aanzien van sensoren, maar ook veel onduidelijkheid. Zijn sensoren vooral relevant in productieomgevingen, of ook nuttig voor toepassingen in het distributienetwerk? Moeten vooral specifieke parameters worden gemeten, en welke dan? Of moeten juist meer generieke metingen worden gedaan, zogenaamde waterfootprints? Deze vragen zijn mede ingegeven door de grote verscheidenheid in huidige en toekomstige mogelijke waterverontreinigingen en locaties waar zinvolle interventies gedaan kunnen worden. Ook is nog onduidelijk of sensoren bestaande methoden (steekproeven en labanalyses) moeten vervangen of meer als aanvullend moeten worden gezien, en wat dit vervolgens betekent voor response-protocollen. Als sensoren bestaande wettelijke methoden vervangen, moeten deze sensoren en bijbehorende monitoringsprocedures door de wet worden geaccepteerd, wat niet vanzelfsprekend is. Tot slot speelt de vraag of sensoren in bepaalde situaties wel de oplossing zijn voor vragen omtrent het beheersen van waterkwaliteit. Mogelijk zijn er andere maatregelen denkbaar zoals verdere verbetering van waterzuiveringstechnieken of beleidsmaatregelen om verontreinigingen te voorkomen en te beheersen.

De verschillende ideeën ten aanzien van de toepassing van sensoren worden afgezet tegen de huidige en de te verwachten prestaties van sensoren. Dit kan aanleiding geven tot het herformuleren van behoeften en eisen. Vanuit de watersector is er recent een beweging richting meer generieke, minder gevoelige on-line metingen. Dit vloeit voort uit de inschatting dat realtime sensoren op korte termijn niet de sensitiviteit en specificiteit van apparatuur in het laboratorium zullen evenaren. Daarnaast is het de vraag of specifieke metingen ook altijd wenselijk zijn, omdat er veel verschillende verontreinigingen mogelijk zijn en steeds nieuwe contaminanten verschijnen in waterbronnen.

Binnen de verscheidenheid aan behoeften en achterliggende overwegingen onderscheiden wij een aantal toepassingsrichtingen van sensoren (tabel 1).

Dit is van belang omdat iedere richting specifieke implicaties heeft voor de eisen die aan de technologie en inbedding gesteld worden. Dit betekent dat argumenten in discussies niet zonder meer kunnen worden uitgewisseld tussen de verschillende richtingen omdat stakeholders dan appels met peren aan het vergelijken zijn. Zo speelt voor toepassingen in productieomgevingen de discussie over acceptatie door wet- en regelgeving nauwelijks een rol, terwijl dit voor andere toepassingen wel van belang kan zijn. Voor parameter-gebaseerde toepassingen zijn discussies over specificiteit en sensitiviteit voor een specifieke parameter relevant, terwijl dit niet per definitie geldt voor de andere toepassingsgebieden. Het scherper formuleren van behoeften en eisen wordt belemmerd als in onderlinge discussies niet duidelijk is in welke hoofdrichting gedacht wordt.

**Tabel 1: Hoofdrichtingen in de toepassing van sensoren voor het monitoren van waterkwaliteit**

Toepassingsgebied	Beschrijving	Voorbeeld	Kwesties en aandachtspunten
Parameter-gebaseerde procesmonitoring	Sensoren die gehanteerd worden om productie- en leveringsprocessen te optimaliseren.	Monitoring van zuurgraad, hardheid en zuurstof tijdens zuivering.	Demonstreren cost benefits (relatief eenvoudiger dan bij andere toepassingen).
Parameter-gebaseerde waterkwaliteitscontrole	Sensoren die wettelijk vereiste parameters meten en geaccepteerd zijn als meetmethode.	Monitoring van algemene parameters, bijv. zuurgraad, turbiditeit, geleiding, alsmede specifieke chemische en microbiologische parameters in het distributienetwerk.	Robuustheid, sensitiviteit en specificiteit onvoldoende in vergelijking met lab. Keuze van parameters.
Effect-gebaseerde monitoring	Sensoren die toxicologische effecten van verontreinigingen in water monitoren en alarmfunctie vervullen.	Biologisch monitoren voor waterinname: Daphnia-toximeter, Algen-toximeter, mossel-toximeter.	Validatie functionaliteit en robuustheid; implicaties voor responseprotocollen. Wettelijke acceptatie als waterkwaliteit controlemethode.
Deviatie-gebaseerde monitoring	Sensoren die waterkwaliteitstrend monitoren en alarmfunctie vervullen bij afwijkingen.	Trends in algemene parameters of fingerprint-sensoren en vervolgens het detecteren van anomalieën.	Interpretatie meetwaarden; implicaties voor responseprotocollen; relatie met andere monitoring; acceptatie in de sector als waterkwaliteit controlemethode.

### **Toepassing van sensoren: een individueel en sectorbreed leerproces**

De bovenstaande discussie maakt duidelijk dat behoeften bij gebruikers van sensoren niet eenduidig zijn en dus niet eenvoudig 'ontdekt' kunnen worden door leveranciers en ontwikkelaars. Bij de implementatie van sensoren zijn bovendien ook andere partijen betrokken, zoals organisaties die verantwoordelijk zijn voor het valideren of certificeren van deze instrumenten en organisaties die de ontwikkeling van nieuwe standaarden faciliteren. Drinkwaterbedrijven die behoeften formuleren ten aanzien van nieuwe sensoren zullen de posities van deze organisaties meenemen in hun overwegingen dan wel anticiperen op (mogelijke) standpunten van deze organisaties.

Het gevolg hiervan is dat behalve sensorleveranciers en drinkwaterbedrijven ook externe partijen (die bijvoorbeeld werken aan standaarden, beleid of regelgeving omtrent het monitoren van drinkwaterkwaliteit) betrokken zijn bij het vaststellen van de behoeften en de acties die hieruit voortvloeien. Een deel van het proces rondom het formuleren van behoeften vindt dus plaats op het niveau van de sector.

Om een beter inzicht te krijgen in deze dynamiek en wat er zou moeten gebeuren om implementatie van sensoren in de drinkwatersector te stimuleren, is er voor dit onderzoek een interactieve stakeholderworkshop ‘*Sensing Demands*’ georganiseerd in november 2013. Parallel aan deze workshop werd een workshop over sensortoepassingen voor de voedingsindustrie georganiseerd, met als doel kruisbestuiving tussen deze twee domeinen te stimuleren. Onderdeel van de aanpak was dat deelnemers van tevoren een aantal scenario’s (tabel 2) kregen ter voorbereiding op de workshopdiscussies [3, 4]. De hoofdboodschap van deze scenario’s was dat het betrekken van andere partijen dan de direct betrokken waterbedrijven en sensorleveranciers het innovatieproces een stap verder kan brengen. De bijeenkomst werd bezocht door 35 deelnemers, afkomstig van kennisinstellingen, waterbedrijven, levensmiddelenbedrijven, sensorbedrijven en organisaties die actief zijn op het gebied van standaardisatie en certificatie.

De discussies in de workshops bevestigden de eerdere bevinding dat niet eenvoudig kan worden aangegeven waar behoeften voor sensoren liggen. In een aantal gevallen zijn er ook vraagtekens bij de mate waarin er überhaupt behoefte is aan nieuwe monitoringstoepassingen. Deelnemers gaven aan dat in situaties waar sensoren in principe toegepast zouden kunnen worden, huidige sensortechnologie ook niet altijd voldoet aan de eisen die gesteld worden aan robuustheid en gevoeligheid. Kansrijke toepassingen werden vooral gezien in specifieke niches, zoals optimalisering en automatisering van zuiveringsprocessen. Een stapsgewijze benadering ten aanzien van de invoering van sensoren, werd als meest realistisch gezien.

Voor het verder exploreren en toepassen van sensoren benadrukten de deelnemers het belang van demonstratieprojecten waarin sensoren in de praktijk kunnen worden getest. Deelnemers merkten op dat het uiteindelijk gaat om de interpretatie van sensordata en wat voor toegevoegde waarde deze metingen hebben. De interpretatie van data en evaluatie hiervan is niet vanzelfsprekend. Het toepassen van sensoren kan aanleiding zijn om op een andere wijze te gaan monitoren dan dat op dit moment gangbaar is. Zo kan anomalie-detectie een belangrijker aspect worden in plaats van bepaling van de exacte waarde van specifieke parameters. Deze metingen kunnen niet één op één worden vergeleken met laboratoriummetingen. Het is niet meteen duidelijk wat dit betekent voor responseprotocollen. Het toepassen van dergelijke sensoren vereist dan, volgens de deelnemers, het heroverwegen van bestaande werkwijzen, de monitoringstrategie van waterleidinglaboratoria, en beleid vanuit wet- en regelgeving aangaande de productie en levering van veilig drinkwater. Deze discussies zullen dus samen met de betrokken stakeholders moeten worden gevoerd wanneer het gaat om het formuleren van behoeften aan nieuwe monitoringstechnologie.

Volgens de deelnemers is er dan ook een belangrijke taak voor de overheid weggelegd om sensorontwikkeling te stimuleren. Dit kan bijvoorbeeld via het aanpassen van regelgeving. Nieuwe regelgeving omtrent zwembadwaterkwaliteit werd als een interessant voorbeeld gezien van een nieuwe manier om waterkwaliteit te borgen. Vooruitlopend op regelgeving merkten deelnemers op dat de ontwikkeling van standaarden belangrijk is en de weg kan bereiden voor de introductie van on-line sensoren. Tot slot waren deelnemers van mening dat regelgeving alléén niet richtinggevend moet zijn ten aanzien van de toepassing van sensoren.

**Tabel 2. Samenvatting scenario's sensoren voor drinkwaterkwaliteit**

	<b>Scenario 1 Verschuiving naar asset management</b>	<b>Scenario 2 Nichetoepassingen in drinkwater- en voedingsindustrie</b>	<b>Scenario 3 Verschuiving naar kwaliteits- en veiligheidscontrole bij consumptie</b>
<b>Initiatief</b>	Twee consortia bestaande uit sensorleveranciers, waterbedrijven en laboratoria wedijveren om het demonstreren van de toegevoegde waarde van een multi-sensor platform in het distributienetwerk.	Voedingsbedrijven en drinkwaterbedrijven werken samen uit zorg voor imagoschade en richten zich op detectie van microbiële verontreinigingen.	Een belangenorganisatie promoot vooral de kwaliteit in plaats van veiligheid van kraanwater tijdens een Europese conferentie over water. Geïnspireerd door de belangorganisatie lanceert een politieke partij een milieubelasting op flessenwater.
<b>Scenario dynamiek</b>	Drinkwaterbedrijven reageren voorzichtig en vinden sensoren voor asset management steeds belangrijker. Pogingen van de consortia om Europese beleidsmakers te overtuigen lopen aanvankelijk op niets uit. Een serieuze drinkwaterbesmetting in Italië als gevolg van een gebroken pijp zet sensoren stevig op de beleidsagenda. Zorg omtrent kosten en effectiviteit van nieuwe monitorings-systemen drijft aandacht af naar verwachte opbrengsten bij sensoren voor asset management. Sensorbedrijven richten zich nu op asset management en sensoren voor diverse industriële productieomgevingen	Samenwerking tussen beide sectoren verloopt aanvankelijk moeizaam door discussies omtrent keuze van parameters en niveau van gevoeligheid. Focus op nichetoepassingen bij consumptiepunten m.b.v. een platformtechnologie lijkt veelbelovend. Het incident in Italië wordt door de samenwerkende partijen aangegrepen om nut van innovatie en implementatie van de niche applicaties aan te tonen in samenwerking met beleidsmakers. Experimenten verlopen succesvol en worden opgeschaald.	Discussies over de betekenis van drinkwaterkwaliteit en mogelijke privatisering van de watersector verschuiven het politieke debat over de milieubelasting naar het ondersteunen van commerciële activiteiten op het gebied van sensoren. Aantonen van waterkwaliteit wordt gezien als een maatschappelijk relevante business propositie om nationaal en internationaal te concurreren. Drinkwaterbedrijven starten experimenten met sensoren en communiceren resultaten naar consumenten. Het incident in Italië wordt nu aangegrepen om Nederlandse sensor-bedrijven te promoten in Europa – met succes.
<b>Uitkomsten</b>	Veel kennis en inzicht verworven over innovatieve sensoren voor waterkwaliteit. Introductie beperkt door verschuiving in behoeften van drinkwaterbedrijven richting asset management.	Introductie van kwaliteit-sensoren in niche applicaties draagt bij aan opbouwen kennis van, en sectorbreed vertrouwen in sensor-toepassingen.	De verschuiving van het garanderen van veiligheid van drinkwater naar kwaliteit creëert nieuwe bedrijvigheid in sensorontwikkeling en implementatie.

Het vertrouwen van klanten is erg belangrijk en regelgeving alleen is daarvoor niet voldoende. De toepassing van sensoren kan ook bijdragen aan het verhogen van het vertrouwen van klanten in drinkwater.

### **Conclusies**

De ontwikkeling en introductie van sensoren voor het monitoren van waterkwaliteit wordt belemmerd door onduidelijkheden over prestaties van nieuwe sensoren en behoeften van gebruikers ten aanzien van hun toepassing. Discussies over toekomstig gebruik van sensoren worden vertroebeld doordat deze niet altijd onderscheid maken tussen de verschillende toepassingsgebieden van sensoren. Dit artikel stelt een indeling in vier hoofdrichtingen voor om deze discussies over sensortoepassingen en hun implicaties beter te structureren. Discussies over de toepassing van sensoren worden complexer in gevallen waarbij de implementatie van sensoren ook consequenties kan hebben voor huidige werkwijzen ten aanzien van het beheren en bewaken van waterkwaliteit. Hierbij zijn ook partijen zoals drinkwaterlaboratoria, certificeringsorganisaties, toezichthouders en beleidsmakers betrokken. Voor het verder specificeren van specifieke behoeften pleiten wij er dan ook voor dat waterbedrijven, onderzoekers en ontwikkelaars de discussie aangaan met deze stakeholders in de drinkwatersector.

*De auteurs danken de geïnterviewden en de workshopdeelnemers voor hun medewerking en bijdragen aan dit onderzoek. Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door NanoNextNL, een micro- en nanotechnologie consortium van de Nederlandse overheid en 130 partners.*

### **Literatuur**

- [1] Broeke, J. van den, Carpentier, C., Moore, C., Carswell, L., Jonsson, J., Sivil, D., Rosen, J. S., Cade, L., e.a. (2014). *Compendium of Sensors and Monitors and their Use in the Global Water Industry*. Alexandria, VA: Water Environment Research Foundation.
- [2] Parandian, A., Rip, A., & Te Kulve, H. (2012). Dual dynamics of promises, and waiting games around nanotechnologies. *Technology Analysis & Strategic Management*, 24(6), 565-582.
- [3] Rip, A., & Te Kulve, H. (2008). Constructive Technology Assessment and Socio-Technical Scenarios. In E. Fisher, C. Selin, & J. M. Wetmore (Eds.), *The Yearbook of Nanotechnology in Society, Volume 1: Presenting Futures* (pp. 49-70): Springer.
- [4] Te Kulve, H., & Rip, A. (2011). Constructing Productive Engagement: Pre-engagement Tools for Emerging Technologies. *Science and Engineering Ethics*, 17(4), 699-714.