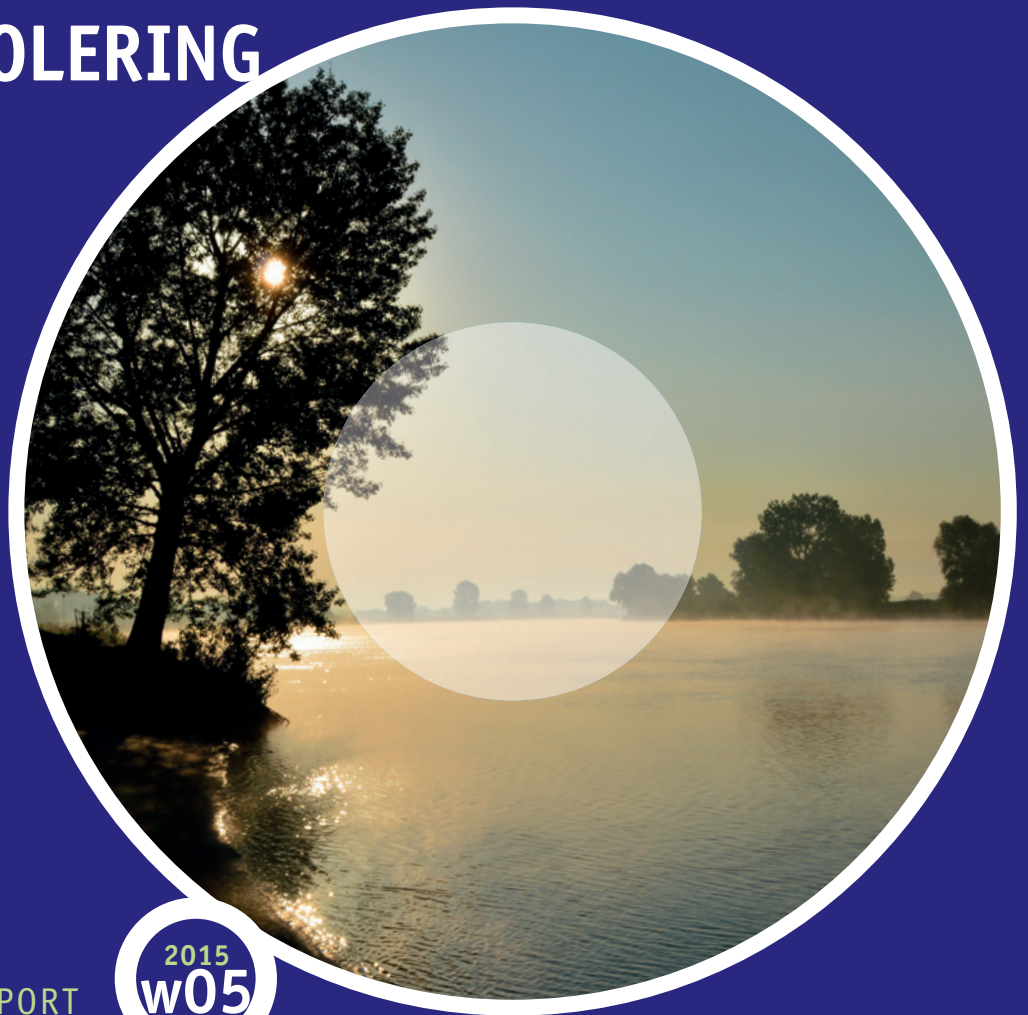


stowa

ERVARINGEN MET ONLINE SENSOREN VOOR WATERKWALITEIT IN OPPERVLAKTEWATER EN RIOLERING



RAPPORT

2015
w05

ERVARINGEN MET ONLINE SENSOREN VOOR WATERKWALITEIT IN
OPPERVLAKTEWATER EN RIOLERING

RAPPORT

2015
W05



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECT UITVOERING
Hans Korving, Witteveen+Bos

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Hans Mollen, Waterschap Brabantse Delta
Jeroen Langeveld, Technische Universiteit Delft
Diederik Niehof, Waterschap Groot-Salland
Mirjam Geurts-van Well, Waterschap Hollandse Delta
Cora Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2015-W05

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

SAMENVATTING

WAT IS HET DOEL VAN DIT RAPPORT?

Doel van het rapport is het bundelen van de ervaringen met online waterkwaliteitssensoren in Nederland en daarbuiten die relevant zijn voor de praktijk.

WAT IS DE REIKWIJDTE VAN DIT RAPPORT?

Het rapport heeft betrekking op waterkwaliteitsensoren. Dit zijn sensoren die in het watersysteem en de afvalwaterketen geplaatst kunnen worden en direct een fysieke grootheid meten in het water (bijvoorbeeld EGV, troebelheid, zuurstof en pH). Waterkwaliteitssensoren zoals toegepast op de RWZI zijn buiten beschouwing gelaten. Wel is kennis over en ervaring met het meten op de RWZI gebruikt voor het opstellen van het rapport.

Het gaat alleen over *sensoren* voor het meten van *waterkwaliteit*. Niveau- en debietsensoren, in-line analyses zoals voor fosfaat, en autosamplers vallen buiten de scope. Tenslotte zijn alleen *marktklare sensoren* betrokken, sensoren die nog voornamelijk in de onderzoekssfeer zitten niet. Ion-selectieve sensoren vallen daarbuiten.

WAT IS DE STAND VAN ZAKEN TEN AANZIEN VAN WATERKWALITEITSENSOREN?

Sinds de introductie van de eerste sensoren is het aantal meetbare parameters enorm toegenomen. Het feit dat ervaringen met toepassingen niet toegankelijk zijn of zelfs nooit gepubliceerd werkt remmend op de toepassing. Bovendien zijn publicaties nogal wetenschappelijk van aard. Commerciële informatie van leveranciers vormt vaak de primaire bron voor eindgebruikers.

WELKE INFORMATIEBRONNEN ZIJN GEBRUIKT?

De informatie in het rapport is gebaseerd op de volgende bronnen:

- interviews met waterbeheerders;
- WERF / GWRC, Compendium of Sensors and Monitors and Their Use in the Global Water Industry. 2014;
- markconsultatie bij leveranciers.

WELKE MEETDOELEN ZIJN RELEVANT?

De volgende meetdoelen zijn relevant / haalbaar voor riolering of oppervlaktewater:

	RIOLERING	OPPERVLAKTEWATER
- begrijpen functioneren systeem	ja	ja
- volgen effecten van ingrepen	beperkt	ja
- sturen in systeem	beperkt	beperkt
- toetsen functioneren systeem	ja	ja

WELKE PARAMETERS WORDEN GEMETEN?

De volgende parameters worden nu al gemeten in de riolering en het oppervlaktewater. Of ze worden afgeleid uit een combinatie van andere metingen:

	RIOLERING	OPPERVLAKTEWATER
- zuurstof	nee	ja
- troebelheid	ja	ja
- geleidbaarheid / EGV	ja	ja
- pH	nee	ja
- NH ₄	nee	ja
- blauwalg	nee	ja

CHECKLIST VOOR SELECTIE VAN MEETAPPARATUUR

Bij de selectie van geschikte meetapparatuur kan de volgende checklist gebruikt worden:

- specificaties meetinstrument:
 - responstijd;
 - meetbereik;
 - precisie;
 - detectielimiet;
 - meetnauwkeurigheid;
 - herhaalbaarheid;
 - korte termijn drift;
 - lange termijn drift;
 - robuustheid;
 - beschikbaarheid;
- specificaties onderhoud:
 - onderhoudsinterval;
 - reinigingsinterval;
 - kalibratie-interval;
- dataopslag en -communicatie:
 - interfaces (analoog, digitaal, protocollen, et cetera);
 - koppeling bestaande systemen (SCADA, PLC);
- installatie en werking:
 - afmetingen;
 - stroomvoorziening/verbruik;
 - in medium of by-pass (met pomp);
 - monster voorbereiding (bijvoorbeeld filtratie);
- laboratorium back-up;
- training personeel.

Voor elk meetproject moet in bovenstaande lijst een prioritering aangebracht worden die past bij het meetdoel. Anders is de kans groot dat een 'schaap met vijf poten' wordt verwacht en zal geen enkele sensor precies passen op de geformuleerde eisen en wensen.

WELKE AANBESTEDINGSVORM WORDT AANBEVOLEN BIJ WELK TYPE PROJECT?

De best passende aanbestedingsvorm verschilt afhankelijk van het type project.

	WEL	NIET
- onderzoek / uitbreiding	1-op-1 uitvraag met prijsonderhandeling	in concurrentie op prijs
- regulier project	meervoudig onderhands op prijs en databeschikbaarheid	in concurrentie op prijs in concurrentie op prijs en datakwaliteit

HOE VERBETERT DE KWALITEIT VAN EEN MEERVOUDIG ONDERHANDSE AANBESTEDING?

De slagingskans van de aanbesteding kan verhoogd worden door toevoegen van:

- een locatie bezoek met alle inschrijvers;
- een duurproef met mogelijke sensoren (gedurende minimaal één jaar).

WAT WORDT AANBEVOLEN VOOR DE ORGANISATIE VAN EEN MEETPROJECT?

De wijze van organiseren bepaalt voor een aanzienlijk deel het slagen van een meetproject.

De volgende aspecten zijn hierbij van belang:

- vanuit eindgebruikers van de sensoren gezamenlijk informatie verzamelen en delen;
- zorgvuldige bepaling van de doelen en de beste oplossing om die te halen;
- integratie van het online monitoring systeem op alle niveaus in de organisatie (vraagsteller, financier, beheerder, etc.);
- goed managen van de verwachtingen (meestal meer inspanning en geld nodig dan in eerste instantie begroot).

CHECKLIST VOOR INSTALLATIE VAN MEETAPPARATUUR

De volgende aandachtspunten zijn van belang bij de installatie van meetapparatuur:

- sensor in (donkere) mantelbuis:
 - bescherming tegen beschadigen;
 - bescherming tegen vandalisme;
 - tegengaan algengroei;
- sensor in bypass:
 - zeer storingsgevoelig;
 - grote kans op pompverstopping/leidingvervuiling bij doorstroomcellen;
 - grote kans op bezinking in doorstroombakken;
- stroomvoorziening:
 - indien mogelijk vaste spanning;
 - anders zonnecel(len) met accu;
- datalogger:
 - bestand tegen onderdompeling;
- installatiewerkzaamheden:
 - bij uitbesteding afhankelijk van inzet medewerkers met juiste kennis bij leverancier;
 - indien in eigen beheer dan veel kennis vereist in organisatie.

CHECKLIST VOOR ONDERHOUD EN REINIGING VAN MEETAPPARATUUR

De volgende aandachtspunten zijn van belang bij de installatie van meetapparatuur:

- belangrijkste probleem:
 - vervuiling sensoren;
- onderhoudsfrequentie:
 - afhankelijk van meetdoel;
 - in oppervlaktewater tenminste 1x per 2-4 weken;
 - in riolering tenminste 1x per 1-2 weken;
- onderhoudswerkzaamheden:
 - bij uitbesteding afhankelijk van inzet medewerkers;
 - met juiste kennis bij leverancier;
 - indien in eigen beheer dan veel kennis vereist in eigen organisatie;
- onderhoudsgevoelige sensoren:
 - goed onderhoudscontract of zelf reserve sensoren/onderdelen in voorraad;
 - 1x per maand vervangen door identieke sensor en andere laten kalibreren in fabriek;
- automatische reiniging:
 - kan periodiek onderhoud NIET vervangen.

CHECKLIST VOOR KALIBRATIE VAN MEETAPPARATUUR

De volgende aandachtspunten zijn van belang bij de kalibratie van sensoren:

- goede protocollen, afspraken en contact met uitvoerenden vereist;
- UV-VIS sensoren regelmatig kalibreren vanwege afname intensiteit lichtbron.

Specifiek voor meten in gemengde riolering zijn ook de volgende punten van belang:

- aparte kalibraties voor DWA en RWA condities vereist;
- RWA kalibraties zijn lastig vanwege kosten en beschikbaarheid personeel.

CHECKLIST VOOR DATACOMMUNICATIE

Ten aanzien van datacommunicatie is draadloze verzending via GPRS inmiddels standaard.

Bij het opzetten van een meetproject zijn de volgende aandachtspunten van belang:

- locale buffer ter voorkoming van dataverlies bij communicatieproblemen;
- conversie van analoog naar digitaal signaal kan tot fouten leiden.

WELKE AANDACHTSPUNTEN ZIJN ER TEN AANZIEN VAN DATAVALIDATIE?

Bij het opzetten van een meetproject zijn de volgende aandachtspunten van belang voor de validatie van meetwaarden:

- uitvoering validatie:
 - in huidige praktijk met name visuele beoordeling van tijdreeksen;
 - bij voorkeur zoveel mogelijk automatiseren;
- eisen datakwaliteit:
 - prestatieafspraken over volledigheid van tijdreeksen haalbaar;
 - prestatieafspraken over plausibiliteit van tijdreeksen NIET haalbaar;
- tijdsinspanning:
 - samen met leverancier naar oorzaken van afwijkingen;
 - zoeken vraagt veel tijd en geld.

WAT ZIJN DE SUCCESFACTOREN VAN EEN MEETPROJECT?

Een meetproject gaat niet vanzelf goed. De volgende factoren zijn cruciaal voor het succes:

- actief en correct gebruik van meetdata in de organisatie borgen;
- behoeften en specificaties goed vastleggen;
- goede, sluitende business case opstellen;
- benodigde middelen voor aanschaf en onderhoud zijn beschikbaar;
- robuuste sensoren die betrouwbare data produceren;
- voldoende training van operators en onderhoudspersoneel voorzien;
- onderhouds- en kalibratieprotocollen opstellen en beschikbaar maken.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

ERVARINGEN MET ONLINE SENSOREN VOOR WATER- KWALITEIT IN OPPERVLAKE- WATER EN RIOLERING

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding voor het rapport	1
	1.2 Stand van zaken in het kort	2
	1.3 Scope van het rapport	2
	1.4 Doel van het rapport	3
	1.5 Leeswijzer voor het rapport	3
2	AANPAK	4
	2.1 Literatuuronderzoek	4
	2.2 Marktverkenning leveranciers	5
	2.3 Interviews eindgebruikers	6

3	VOORBEREIDING MEETPROJECT	7
3.1	Doelen van een meetproject	8
3.2	Keuze van de meetparameters	9
3.3	Selectie van de meetapparatuur	10
3.4	Aanbesteding van een meetproject	11
3.5	Organisatie van een meetproject	12
4	OPSTELLING MEETAPPARatuur	14
5	UITVOERING MEETPROJECT	16
5.1	Prestaties van sensoren	17
5.2	Onderhoud en kalibratie van sensoren	18
5.3	Datacommunicatie, -ontsluiting en -opslag	20
5.4	Datavalidatie	21
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	22
6.1	Waarom wel meten?	22
6.2	Waarom (nog) niet meten?	23
6.3	Wat bepaalt het succes?	24
6.4	Welke vervolgstappen worden aanbevolen?	24
	BIJLAGEN	
I	OVERZICHT LITERatuur	25
II	VRAGENLIJST INTERVIEWS	27

1

INLEIDING

HOOFDSTUK 1 SAMENGEVAT

Wat is de stand van zaken ten aanzien van online meten van waterkwaliteit?

aantal parameters sinds introductie enorm toegenomen;
publicaties nogal wetenschappelijk;
ervaringen met toepassingen niet toegankelijk of nooit gepubliceerd;
commerciële informatie leveranciers primaire bron.

WAT IS HET RESULTAAT VAN HET PROJECT?

overzicht van toepassingsmogelijkheden van online sensoren voor waterkwaliteit;
bundeling van praktijkervaringen met online sensoren in riolering en oppervlaktewater.

1.1 AANLEIDING VOOR HET RAPPORT

Sinds een aantal jaren bestaat bij waterschappen en gemeenten steeds meer aandacht voor online waterkwaliteitsmetingen. Dit heeft voor een belangrijk deel te maken met een streven naar meer doelmatigheid in het beheer van (afval)watersystemen. De behoefte aan informatie over waterkwaliteit voor oppervlaktewater en riolering heeft verschillende achtergronden, zoals sturing, regelgeving, vergunningen, veiligheid en gezondheid en onderzoek.

Met sensoren kan continu de waterkwaliteit gevolgd worden en de sturing worden afgestemd op het actuele systeemgedrag. Aansprekende voorbeelden zijn het KALLISTO project bij waterschap De Dommel waarin het doel is real-time te sturen in de afvalwaterketen om de waterkwaliteit van de Dommel te beheersen en het project Slim meten en doorspoelen van de Amsterdamse grachten bij Waternet.

Verder wordt de vraag vanuit politiek en samenleving naar transparantie steeds luider. Dit kan voor waterschappen en gemeenten betekenen: real-time laten zien wat er werkelijk speelt in het systeem en het imago van een betrouwbare overheid die de juiste dingen doet bevestigen. Vanuit de landelijke overheid, met name het ministerie van I&M, wordt het principe van open data steeds meer gepromoot. Wat ook meespeelt, is dat er steeds meer en betere sensoren beschikbaar komen voor een redelijke prijs. Dit verlaagt de drempel voor waterschappen en gemeenten om zich aan te sluiten bij deze ontwikkelingen.

In de praktijk blijkt dat met name het beheer en onderhoud van waterkwaliteitssensoren, maar ook het daaraan gekoppelde databeheer, veel aandacht vragen. Dit blijkt aan de ene kant een verrassing voor beheerders die ermee aan de slag gaan. Aan de andere kant kan het voor beheerders die hier wel van op de hoogte zijn een drempel vormen om aan online sensoren te beginnen.

Gezien de ontwikkelingen is het nuttig om de kennis die bij de voorlopers beschikbaar is te bundelen en beschikbaar te stellen aan de groep volgers die graag aan de slag wil met online meettechnieken. Hiermee wordt voorkomen dat iedereen zelf opnieuw het wiel gaat uitvinden.

1.2 STAND VAN ZAKEN IN HET KORT

Oorspronkelijk werden sensoren vooral gebruikt om de snelheid van metingen in het laboratorium te verhogen en de kosten te verlagen. Door de komst van online instrumenten is het toepassingsgebied verschoven naar in-situ monitoring van de waterkwaliteit.

Het aantal parameters dat gemeten kan worden, is sinds de introductie van online sensoren enorm toegenomen. In de afgelopen 10 jaar zijn ook de mogelijkheden van de apparatuur verbeterd en zijn robuustheid, prestaties en onderhoudsbehoefte in positieve zin veranderd. Helaas zijn negatieve ervaringen (onbetrouwbaar, complex, tegenvallende prestaties) met eerste toepassingen van online sensoren in de jaren '80 en '90 wel bij gebruikers blijven hangen. En hoewel er een nieuwe generatie sensoren beschikbaar is die betrouwbaarder meet, wordt online monitoring vaak nog gezien als een risico en niet als een kans.

Publicaties over online sensoren zijn vaak nogal wetenschappelijk van aard. Zij besteden aandacht aan de beschikbare technologieën, maar ervaringen van eindgebruikers en sensorprestaties blijven onderbelicht. Een groot deel van de waardevolle ervaringen met de toepassing van online sensoren in het veld is helaas nooit gepubliceerd en daardoor nauwelijks beschikbaar. Dit geldt zeker ook voor de succesverhalen over toepassingen. Informatie zit vaak in de hoofden van het personeel van waterschappen en van leveranciers en adviesbureaus die ondersteunen bij het meten. Als er al praktijkervaringen gepubliceerd worden, dan is het rapport vaak niet in het Engels.

Gevolg is dat commerciële informatie van leveranciers, hoewel beperkt in scope, vaak de primaire bron van informatie vormt voor eindgebruikers van online sensoren. Het zou voor de toepassing van online sensoren erg waardevol zijn als informatie over ervaringen van eindgebruikers en sensorprestaties voor iedereen op een overzichtelijke manier beschikbaar komt. Dit rapport wil daarbij voor de Nederlandse praktijk behulpzaam zijn.

1.3 SCOPE VAN HET RAPPORT

Onder waterkwaliteitsensoren worden in dit rapport verstaan sensoren die in het watersysteem en de afvalwaterketen geplaatst worden en direct een fysieke grootheid meten in het water, zoals EGV, troebelheid, zuurstof of pH.

Het gaat nadrukkelijk om sensoren voor het meten van waterkwaliteit. Daarom vallen niveau- en debietsensoren, in-line analyses zoals voor fosfaat, en autosamplers buiten de scope.

Alleen marktklare sensoren zijn in dit rapport opgenomen, sensoren die nog voornamelijk in de onderzoekssfeer zitten niet. Daarom zijn ion-selectieve sensoren buiten beschouwing gelaten.

In dit rapport wordt wel het hele proces rondom het meten met sensoren bekeken. Dus inclusief installatie, functioneren, datacommunicatie en datakwaliteit. Daarbij proberen we onderscheid te maken naar het medium waarin de sensor wordt toegepast: riolering of oppervlaktewater. Waterkwaliteitssensoren zoals toegepast op de RWZI zijn buiten beschouwing gelaten. Wel is kennis over en ervaring met het meten op de RWZI gebruikt voor het opstellen van het rapport.

1.4 DOEL VAN HET RAPPORT

Doel van het rapport is het in kaart brengen en bundelen van de ervaringen met online waterkwaliteitssensoren in Nederland en daarbuiten.

Het resultaat is een overzicht de praktijkervaringen met online sensoren voor waterkwaliteit in de riolering en het oppervlaktewater. Er wordt met name aandacht besteed aan de ervaringen bij de installatie, het gebruik en het fysieke beheer en onderhoud van online waterkwaliteitssensoren.

Met deze resultaten kunnen waterschappen en gemeenten zich een beter beeld vormen van de (on)mogelijkheden van online meten en komen zij bij de toepassing van online waterkwaliteitssensoren minder voor verrassingen te staan.

1.5 LEESWIJZER VOOR HET RAPPORT

In dit rapport worden de volgende onderdelen van een meetproject afzonderlijk besproken. Het rapport start met een beschrijving van de aanpak om te komen tot het rapport in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft het onderdeel voorbereiding van een meetproject en bespreekt meetdoelen, keuze meetparameters, keuze sensoren, aanbesteding c.q. aanschaf van apparatuur en organisatie. In hoofdstuk 4 ligt de focus op het onderdeel installatie van meetopstellingen. In hoofdstuk 5 wordt het onderdeel uitvoering van een meetproject besproken. Dit hoofdstuk bestaat uit de onderdelen prestaties van sensoren, onderhoud en kalibratie van sensoren, datacommunicatie, -ontsluiting en -opslag en datavalidatie. Het rapport sluit af met een overzicht van de redenen om nu juist wel of juist niet aan de slag te gaan met on-line waterkwaliteitssensoren in oppervlaktewater en riolering (hoofdstuk 6).

2

AANPAK

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de informatie over de mogelijkheden van online waterkwaliteits-sensoren en de ervaringen met de toepassing ervan is verzameld. Dit is gebeurd aan de hand van een literatuuronderzoek, een marktverkenning onder leveranciers en verschillende interviews met eindgebruikers.

HOOFDSTUK 2 SAMENGEVAT

Welke informatiebronnen zijn gebruikt?

- WERF / GWRC, Compendium of Sensors and Monitors and Their Use in the Global Water Industry. 2014;
- interviews waterbeheerders;
- markconsultatie leveranciers.

2.1 LITERATUURONDERZOEK

Ten eerste is een literatuurstudie uitgevoerd. Het lastige is dat een groot deel van de praktijk-ervaringen met online sensoren nooit gepubliceerd is en daardoor nauwelijks beschikbaar. Informatie zit vaak in de hoofden van medewerkers (waterschappen, leveranciers en advies-bureaus).

Verder valt op dat publicaties over sensoren vaak nogal wetenschappelijk zijn. Er wordt wel aandacht besteed aan beschikbare technologieën, maar niet aan ervaringen van eindgebruikers en prestaties van sensoren. Hierdoor is geen informatie beschikbaar over wat werkt en wat niet en vormt de commerciële informatie van leveranciers, hoewel beperkt in scope, vaak de primaire bron van informatie voor eindgebruikers van online sensoren.

Een belangrijke bron van informatie vormt een recent verschenen rapport van WERF/GWRC:

- WERF/GWRC, Compendium of Sensors and Monitors and Their Use in the Global Water Industry. 2014. Co-published with IWA Publishing.

Het WERF/GWRC-rapport bespreekt de stand van zaken ten aanzien van het meten met online waterkwaliteitssensoren in drinkwater en afvalwater. De informatie is afkomstig van organisaties in de USA, de UK, Zuid-Afrika, Australië en Nederland. Voor het onderdeel drinkwater is nadrukkelijk ook gekeken naar metingen in het oppervlaktewater bij innamepunten. Het afvalwaterdeel gaat uitsluitend over de toepassing van sensoren op RWZI's. Er is geen informatie over de toepassing van online sensoren in de riolering opgenomen.

Het document is bedoeld als een overzicht van zo onafhankelijk mogelijke informatie over meetdoelen, bijpassende meettechnieken en ervaringen uit praktijktoepassingen. De focus ligt op commercieel beschikbare online meettechnieken voor waterkwaliteit die daadwerkelijk in het veld toegepast zijn of kunnen worden.

De WERF/GWRC-publicatie bestaat uit twee delen. Ten eerste een rapport waarin beschreven staat hoe het project is uitgevoerd en wat de algemene resultaten zijn. Ten tweede een online Compendium (www.wqsmc.org) waarin de gedetailleerde technische informatie, ervaringen van gebruikers en 'best practices' zijn gebundeld. Van deze detailinformatie is maar een deel opgenomen in het rapport.

In het online Compendium is de volgende informatie opgenomen die niet is vermeld in het rapport:

- beschrijving van parameter en toepassing (inclusief technische beschrijving van meetmethode en referenties naar achtergrond documenten);
- voordelen van meettechniek;
- nadelen van meettechniek;
- indicatie van aanschafkosten (alleen meetinstrument);
- indicatie van beheer- en onderhoudskosten (per jaar);
- 'best practice' informatie over installatie;
- belangrijkste operationele aspecten (bijvoorbeeld reserveonderdelen);
- informatie over kalibratievereisten en -methoden;
- specifieke toepassing van meettechniek.

Hoewel het Compendium richtlijnen, voorbeelden en illustraties bevat, is het geen document dat de vraag beantwoordt wat de beste sensor is voor een specifieke toepassing en gebruiker, omdat de betekenis van deze vraag per gebruiker kan verschillen.

Voor het opstellen van dit rapport was het niet mogelijk om toegang te krijgen tot het online Compendium. Hierdoor is een deel van de informatie uit de WERF/GWRC-publicatie niet beschikbaar. Het zou goed zijn om te bekijken of en hoe deze waardevolle informatie toch toegankelijk gemaakt kan worden voor de Nederlandse praktijk.

Naast het Compendium zijn de publicaties in bijlage I gebruikt als onderlegger voor dit rapport. Overigens is ook in deze artikelen weinig aandacht voor echte praktijktoepassingen. Voor eindgebruikers zit bruikbare informatie nogal verstopt.

2.2 MARKTVERKENNING LEVERANCIERS

Naast de literatuurstudie is een beknopt marktonderzoek naar de mogelijkheden van online meettechnieken uitgevoerd bij verschillende leveranciers. Voor deze marktconsultatie hebben de volgende partijen een presentatie gehouden: Nortek, IMD, Hach Lange, BAR Instruments en Interline. Deze bedrijven kunnen worden onderverdeeld in drie typen: leverancier van sensoren en dataloggers (geen installatie en onderhoudswerk), leverancier/aannemer met één merk of leverancier/aannemer met breder aanbod van merken.

Naast de informatie die is verzameld op basis van de presentaties, is ook het feit dat één leverancier zich heeft afgemeld het vermelden waard. Als reden voor de afmelding werd aangegeven dat zij enkel gebruik maken van mobiele apparatuur voor waterkwaliteits-metingen met sensoren. De belangrijkste reden om geen permanent inzetbare, online sensoren te gebruiken is dat deze in oppervlaktewater en riolering naar hun mening altijd veel onderhoud vragen. Dit strookt met de uitspraken van de andere leveranciers bij de marktverkenning.

In het WERF/GWRC-rapport is een wereldwijde lijst opgenomen met leveranciers van online sensoren voor waterkwaliteit¹. Deze lijst biedt eindgebruikers een beknopt overzicht van de mogelijkheden.

2.3 INTERVIEWS EINDGEBRUIKERS

Tenslotte zijn de ervaringen met online waterkwaliteitssensoren bij waterschappen zijn in beeld gebracht door middel van vijf uitgebreide interviews met ervaringsdeskundigen bij HHNK, De Dommel, Brabantse Delta, Waternet en TU Delft.

De interviews vormen het belangrijkste onderdeel van het project. Zij zijn gebruikt om in te zoomen op specifieke meetprojecten. Omdat alle ervaringen van belang zijn, is zowel naar tijdelijke als langer lopende meetprojecten gekeken.

De focus ligt op gebruik, beheer en onderhoud van online sensoren. Afgezien van het gebruik van datavalidatie bij de aansturing van beheer en onderhoud, valt databeheer buiten de scope van het onderzoeksproject. Waar mogelijk is een koppeling gemaakt tussen de ervaringen van gebruikers en de verhalen van de leveranciers.

Bij de interviews is de vragenlijst gebruikt zoals vermeld in bijlage II.

1 WERF/GWRC, Compendium of Sensors and Monitors and Their Use in the Global Water Industry. 2014. Co-published with IWA Publishing. Appendix C-2, Table C-1.

3

VOORBEREIDING MEETPROJECT

In dit hoofdstuk worden onze bevindingen ten aanzien van de voorbereiding van een meetproject beschreven. Het zijn de resultaten van interviews, literatuurstudie en marktconsultatie samen.

HOOFDSTUK 3 SAMENGEVAT

Welke meetdoelen zijn relevant/haalbaar voor riolering en/of oppervlaktewater?

	RIOLERING	OPPERVLAKTEWATER
• begrijpen functioneren systeem/objecten	ja	ja
• volgen effecten van ingrepen	beperkt	ja
• sturen in systeem	beperkt	beperkt
• toetsen functioneren systeem	ja	ja

Welke parameters worden nu al gemeten? Of afgeleid uit een combinatie van andere metingen?

	RIOLERING	OPPERVLAKTEWATER
• zuurstof	nee	ja
• troebelheid	ja	ja
• geleidbaarheid / EGV	ja	ja
• pH	nee	ja
• blauwalg	nee	ja

Checklist voor selectie van meetapparatuur:

- specificaties meetinstrument:
 - responstijd;
 - meetbereik;
 - precisie;
 - detectielimiet;
 - meetnauwkeurigheid;
 - herhaalbaarheid;
 - korte termijn drift;
 - lange termijn drift;
 - robuustheid;
 - beschikbaarheid;
- specificaties onderhoud:
 - onderhoudsinterval;
 - reinigingsinterval;
 - kalibratie-interval;
- dataopslag en -communicatie:
 - interfaces (analoog, digitaal, protocollen, et cetera);
 - koppeling met bestaande systemen (SCADA, PLC, et cetera);

- installatie en werking:
 - afmetingen;
 - stroomvoorziening/verbruik;
 - in medium of by-pass (met pomp);
 - monster voorbereiding (bijvoorbeeld filtratie);
- laboratorium back-up;
- training personeel.

Welke aanbestedingsvorm wordt aanbevolen bij welk type project?

	WEL	NIET
• onderzoek / uitbreiding	1-op-1 uitvraag met prijszonder	in concurrentie op prijs handeling
• regulier project	meervoudig onderhands op prijs en data-beschikbaarheid	in concurrentie op prijs en datakwaliteit

Wat verbetert de kwaliteit van een meervoudig onderhandse aanbesteding?

- locatie bezoek inschrijvers;
- duurproef sensoren (1 jaar).

Wat wordt aanbevolen voor de organisatie van een meetproject?

- vanuit eindgebruikers van online sensoren gezamenlijk informatie verzamelen en delen;
- zorgvuldige bepaling van de doelen en de beste oplossing om die te halen;
- integratie van het online monitoring systeem op alle niveaus in de organisatie (vraagsteller, financier, beheerder, etc.);
- goed managen van de verwachtingen (meestal meer inspanning en geld nodig dan in eerste instantie begroot).

3.1 DOELEN VAN EEN MEETPROJECT

MEETDOELEN

Meetdoelen die uit de interviews naar voren komen zijn:

- inzicht krijgen in het systeem functioneren;
- volgen van effecten van fysieke maatregelen;
- (real-time) sturen in het systeem;
- toetsen of gestelde doelen zijn behaald.

INZICHT VERGROTEN

Het meetdoel 'meten of onderzoek om inzicht te krijgen in het systeem functioneren' wordt het vaakst genoemd.

STUREN MET METINGEN

Sturen op basis van waterkwaliteitsmetingen in afvalwaterketen en watersysteem wordt wel genoemd, maar blijkt in de praktijk vaak lastig te zijn, omdat dit veel kennis vereist van het functioneren het watersysteem en kennis van het interpreteren van meetdata. Alleen bij hele

concrete sturingsvragen lukt het in een enkel geval. Vaak wordt de sturing teveel gebaseerd op het ontwerp van het systeem en onvoldoende op het werkelijk functioneren.

OPPERVLAKTEWATER

Sturen in oppervlaktewater kan zijn:

- aanpassen van inlaatbeheer op basis van EGV metingen;
- doorspoelen op basis van EGV of O₂ metingen.

RIOLERING

Sturen in de riolering is beperkt tot:

- sturing van VGS (verbeterd gescheiden rioolstelsel) gemalen op basis van troebelheids- en of geleidbaarheidsmetingen;
- sturing bij lozingen vanuit de riolering in groene buffers;
- sturing in de influentlijn op de RWZI (bij aanwezigheid van een regenwaterbuffertank (RBT)).

3.2 KEUZE VAN DE MEETPARAMETERS

Uit de interviews blijkt dat de volgende parameters gemeten (of afgeleid uit een combinatie van andere metingen) in oppervlaktewater en/of riolering:

- zuurstof;
- troebelheid;
- geleidbaarheid/EGV (Elektrisch Geleidend Vermogen);
- blauwalg;
- pH.

METEN IN RIOLERING

Voor meetprojecten in de riolering worden vooral geleidbaarheid en troebelheid als kansrijke online waterkwaliteitsmetingen gezien. Deze metingen zijn redelijk robuust en verschaffen voldoende informatie over de globale samenstelling van het afvalwater.

Daarnaast is het goed mogelijk om met behulp van UV-VIS (UV and VISible light) sensoren optisch verschillende parameters in het afvalwater tegelijkertijd te meten (bijvoorbeeld CZV, CZV opgelost, NO₃ en TSS). De geschiktheid van UV-VIS sensoren voor metingen in de riolering hangt wel sterk af van het type sensor. Dit heeft met name te maken met het reinigingsmechanisme (luchtspoeling, wisser of combinatie van beide).

Opvallend is dat sommige ervaringen met bijvoorbeeld troebelheidsmeters slecht zijn ('droogvallen van de sensoren leidt tot problemen'), terwijl andere ervaringen met hetzelfde soort metingen erg goed zijn ('ervaring met geleidbaarheids- en troebelheidsmetingen in de riolering is goed'). De sleutel ligt in goed en frequent onderhoud van de sensoren.

3.3 SELECTIE VAN DE MEETAPPARATUUR

Over de selectie van apparatuur is in de interviews niet veel informatie verkregen. Alleen van situaties waarin 1-op-1 meetapparatuur wordt aangeschaft, wordt opgemerkt dat ervaring met specifieke apparatuur een grote rol speelt bij de keuze voor deze aanbestedingsvorm.

CHECKLIST VOOR SELECTIE VAN MEETAPPARATUUR

Bij de selectie van geschikte meetapparatuur kan de volgende checklist gebruikt worden afkomstig uit het WERF/GWRC rapport om precies in beeld te brengen wat de wensen zijn in relatie tot de mogelijkheden van de apparatuur:

- specificaties meetinstrument:
 - responstijd;
 - meetbereik;
 - precisie;
 - detectielimiet;
 - meetnauwkeurigheid;
 - herhaalbaarheid;
 - korte termijn drift;
 - lange termijn drift;
 - robuustheid;
 - beschikbaarheid;
- specificaties onderhoud:
 - onderhoudsinterval;
 - reinigingsinterval;
 - kalibratie-interval;
- dataopslag en -communicatie:
 - interfaces (analoog, digitaal, protocollen, et cetera);
 - uitwisselbaarheid/koppeling met bestaande systemen (SCADA, PLC, et cetera);
- installatie en werking:
 - afmetingen;
 - stroomvoorziening/-verbruik;
 - in medium of by-pass (met pomp);
 - monster voorbereiding (bijvoorbeeld filtratie);
- laboratorium back-up;
- training personeel.

PRIORITEREN SPECIFICATIES MEETAPPARATUUR

De kunst is om niet alleen getalswaarden te hangen aan de specificaties in de checklist, maar ook een prioritering hierin aan te brengen. Daarmee kan aangegeven worden wat echt belangrijk is voor een specifiek meetproject. Anders is de kans groot dat een 'schaap met vijf poten' wordt verwacht en zal geen enkele sensor precies passen op de geformuleerde eisen en wensen. Dit prioriteren moet wel vooraf gebeuren. Lastig is wel dat voor het prioriteren van de checklist voldoende kennis van online meten van waterkwaliteit vereist is in de organisatie.

BESCHIKBARE INFORMATIE BEPERKT

In de praktijk blijkt vaak de informatie niet voorhanden om te beoordelen of een sensor echt het best bij de vraag van de eindgebruiker past. Er zijn nauwelijks publicaties die de prestaties van online sensoren in beeld brengen en vergelijken. Over het algemeen is hier alleen de documentatie van leveranciers voor beschikbaar en die is vaak niet gebaseerd op ervaringen het veld, maar op prestaties in het laboratorium.

Lepot et al. (2013) is een voorbeeld waarin wel onderzocht is hoe betrouwbaar een specifieke sensor, of combinatie van sensoren, (troebelheid, UV-VIS, geleidbaarheid en pH) in staat is een specifieke parameter (zwevend stof, CZV, totaal zuurstofverbruik) te meten. Hieruit blijkt dat geen enkele sensor voor alle parameters de beste meetresultaten levert. De geschiktheid van de geteste sensoren voor een specifieke toepassing varieert sterk en blijkt ook afhankelijk van de aanvoercondities (DWA (droogweer afvoer) of RWA (regenweer afvoer)).

3.4 AANBESTEDING VAN EEN MEETPROJECT

De belangrijkste conclusie is dat de markt nog in de kinderschoenen staat. De partijen hebben nog weinig ervaring met het type projecten c.q. de vragen die gesteld worden. De vraag is klein en daardoor blijft de markt ook klein. In vergelijking met niveaumetingen in de riolering zijn waterkwaliteitsmetingen veel meer maatwerk.

WAT AANBESTEDEN?

Het is belangrijk om te beseffen dat een systeem voor het meten van waterkwaliteit op verschillende manier kan worden aanbesteed. Kijkend naar de onderdelen die in een aanbesteding worden meegenomen, kan het volgende onderscheid gemaakt worden:

alleen sensoren;

- meesystemen (sensoren, dataloggers, modems, et cetera);
- geïnstalleerde meetopstellingen;
- meetdata van bepaalde kwaliteit.

HOE AANBESTEDEN?

Uit de interviews blijkt dat verschillende aanbestedingsmethoden worden toegepast voor het verkrijgen van meetapparatuur:

- in concurrentie op basis van prijs;
- in concurrentie op basis van prijs en (data)kwaliteit;
- 1-op-1 uitvraag. Dit is mogelijk in het geval van onderzoeksprojecten of omdat een bestaand meetnet wordt uitgebreid waarbij de toepassing van veel verschillende merken en types sensoren niet gewenst is.

ERVARINGEN EINDGEBRUIKERS

Opvallend is dat door de geïnterviewden geen negatieve ervaringen bij een specifieke methode zijn benoemd. Hierbij moet wel aangetekend worden dat aantal eindgebruikers alleen sensoren heeft aangeschaft. Deze zijn in eigen beheer aan dataloggers gekoppeld en geïnstalleerd op de locatie. In sommige gevallen werden complete meetoplossingen (sensor en datalogger) gekocht, waarbij ook installatie en onderhoud in de aanbesteding is meegenomen.

De aanbestedingsvorm die gebruikt is voor het aanschaffen van alleen sensoren kan verschillen per gebruiker. Dit geldt ook voor gebruikers die complete meetoplossingen aanschaffen.

Een meervoudig onderhandse aanbesteding waarbij data van een zekere kwaliteit wordt ingekocht in plaats van sensoren ligt minder voor de hand. Leveranciers blijken het nog lastig te vinden om de risico's goed in te schatten en af te prijzen. Hierdoor worden veel van de risico's op het niet kunnen leveren van goede data verdisconteerd in de prijs.

De best passende aanbestedingsvorm blijkt dus te verschillen per type project:

	WEL	NIET
• onderzoek / uitbreiding	1-op-1 uitvraag met prijsonderhandeling	in concurrentie op prijs
• regulier project	meervoudig onderhands op prijs en databeschikbaarheid	in concurrentie op prijs in concurrentie op prijs en datakwaliteit

HOE SLAGINGSKANS VERHOGEN?

Een locatiebezoek met de leveranciers opnemen in de aanbestedingsprocedure geeft een grotere kans op aanbiedingen met reëel ingeschatte kosten van beheer en onderhoud. De locatie kan namelijk zeer bepalend zijn voor de kans op vervuiling.

Om te toetsen of een sensor werkelijk doet wat een leverancier aangeeft, kan het verstandig zijn om voorafgaand aan het meetproject een periode (tot maximaal 1 jaar) te gebruiken voor een duurproef met apparatuur van verschillende leveranciers. Op basis van deze testperiode kan dan een keuze voor een specifieke sensor gemaakt worden. Momenteel gaan de ontwikkelingen op sensorgebied zo snel dat het de moeite loont om dit bij elk nieuw meetproject te doen. Uit de literatuurstudie blijkt dat dit in het buitenland vaak gebeurt.

Uit de uitgevoerde interviews blijkt dat kennis over apparatuur bij leveranciers vooral zit bij specifieke personen. Het al dan niet slagen van een meetproject is sterk afhankelijk van de betrokkenheid van deze personen. Het is dus belangrijk om in de beoordeling van de aanbiedingen een criterium op te nemen waarmee de inzet van de juiste medewerkers in het project getoetst kan worden

3.5 ORGANISATIE VAN EEN MEETPROJECT

KLEIN SPECIALISTISCH TEAM SUCCESVOLLER

Uit de WERF/GWRC-studie blijkt dat het gebruik van kleine teams met specialistisch technisch personeel meehelpt aan het succes van online monitoring.

De meeste respondenten geven aan dat zij eigen personeel gebruiken voor beheer en onderhoud van online sensoren. Soms in combinatie met personeel van de leverancier/fabrikant. Voor installatie wordt vaak teruggevallen op externe partijen.

SAMENWERKING VOOR BETERE KENNISONTWIKKELING

Omdat er nog veel onzekerheid is over het functioneren van online sensoren in de praktijk, wordt in de UK vanuit de eindgebruikers van online sensoren gezamenlijk gezocht naar antwoorden op vragen als: welke O₂ sensor werkt goed? Hoeveel onderhoud is nodig? Wat is een goede manier van reinigen? Hoe moeten sensoren geïnstalleerd worden?

Het zou voor de Nederlandse praktijk ook een goede ontwikkeling zijn om op eenzelfde manier meer kennis te gaan verzamelen en deze onderling uit te wisselen.

4

OPSTELLING MEETAPPARATUUR

In dit hoofdstuk worden onze bevindingen ten aanzien van de opstelling van de meetapparatuur beschreven. Het zijn de resultaten van interviews, literatuurstudie en marktconsultatie samen.

HOOFDSTUK 4 SAMENGEVAT

Checklist voor installatie van meetapparatuur:

- sensor in (donkere) mantelbuis:
 - bescherming tegen beschadigen;
 - bescherming tegen vandalisme;
 - tegengaan algengroei;
- sensor in bypass:
 - zeer storingsgevoelig;
 - grote kans op pompverstopping/leidingvervuiling bij doorstroomcellen;
 - grote kans op bezinking in doorstroombakken;
- stroomvoorziening:
 - indien mogelijk vaste spanning;
 - anders zonnecel(len) met accu;
- datalogger:
 - bestand tegen onderdompeling;
- installatiewerkzaamheden:
 - bij uitbesteding afhankelijk van inzet medewerkers met juiste kennis bij leverancier;
 - indien in eigen beheer dan veel kennis vereist in organisatie.

TYPE OPSTELLING

In de projecten die in de interviews zijn besproken worden met name 'vaste' meetopstellingen toegepast. Sensoren worden in een mantelbuis geplaatst en voorzien van vaste spanning. Uitzondering zijn een meetproject waarin is gemeten aan een meetboei, uitgerust met zonnecel en accu, en een project waarin is gemeten met een boot.

UITVOERING INSTALLATIE

Installatiewerkzaamheden worden soms in eigen beheer uitgevoerd, soms door een externe partij. Van beide mogelijkheden zijn geen specifieke nadelen bekend. Wel staat vast dat meten een specialistisch vak is. Voor datgene wat in eigen beheer gebeurt, moet dus ook de specialistische kennis in huis zijn.

AANDACHTSPUNTEN

Zowel uit de interviews als de literatuurstudie blijkt dat sensoren die niet in de stroom zijn geïnstalleerd, maar in een bypass en gebruik maken van een pomp, vaak last hebben van verstoppingen. Ook kan bio-fouling in de aanvoerleidingen van de sensor optreden, wat mogelijk zorgt voor een verstoorde meting. Bij doorstroombakken kan ongewenste bezinking optreden, waardoor betrouwbaar meten onmogelijk wordt. De meetapparatuur raakt namelijk bedolven onder sediment en vuil.

Voor het tegengaan van algengroei is het verstandig om een sensor in een donkere buis te plaatsen. De buis moet wel voldoende ruim zijn en vrije uitwisseling met het omringende water mogelijk maken.

Sensoren in het oppervlaktewater kunnen het best in de winter verwijderd worden om beschadiging door ijs te voorkomen.

Het blijkt dat stand-alone locaties (meten op accu) in principe niet voorkomen, omdat optische sensoren hiervoor een te hoog stroomverbruik hebben. Als er geen vaste spanning voorhanden is wordt soms wel een zonnecel gecombineerd met een accu.

Een specifiek probleem is dat online waterkwaliteitssensoren in oppervlaktewater ook bestand moeten zijn tegen grote stroomsnelheden en overstromingen. Vooral de data-logger en de communicatie kunnen bij onderdamping falen.

De leveranciers geven bij de marktconsultatie aan dat de locatiekeuze vaak de oorzaak is van problemen met de sensoren. Wat dan belangrijke factoren zijn voor de locatie van een sensor kunnen ze niet specifiek maken of willen ze niet benoemen.

5

UITVOERING MEETPROJECT

In dit hoofdstuk worden onze bevindingen ten aanzien van de uitvoering van een meetproject beschreven. Het zijn de resultaten van interviews, literatuurstudie en marktconsultatie samen.

HOOFDSTUK 5 SAMENGEVAT

Checklist voor onderhoud en reiniging van meetapparatuur:

- belangrijkste probleem:
 - vervuiling sensoren;
- onderhoudsfrequentie:
 - afhankelijk van meetdoel;
 - in oppervlaktewater tenminste 1x per 2-4 weken;
 - in riolering tenminste 1x per 1-2 weken;
- onderhoudswerkzaamheden:
 - bij uitbesteding afhankelijk van inzet medewerkers met juiste kennis bij leverancier;
 - indien in eigen beheer dan veel kennis vereist in organisatie;
- onderhoudsgevoelige sensoren:
 - goed onderhoudscontract of zelf reserve sensoren/onderdelen in voorraad;
 - 1x per maand vervangen door identieke sensor en andere laten kalibreren in fabriek;
- automatische reiniging:
 - kan periodiek onderhoud NIET vervangen.

Checklist voor kalibratie van meetapparatuur:

- goede protocollen, afspraken en contact met uitvoerenden vereist;
- aparte kalibraties voor DWA en RWA condities vereist;
- RWA kalibraties zijn lastig vanwege kosten en beschikbaarheid personeel;
- UV-VIS sensoren regelmatig kalibreren vanwege afname intensiteit lichtbron.

Checklist voor datacommunicatie:

- locale buffer ter voorkoming van dataverlies bij communicatieproblemen;
- draadloze verzending via GPRS inmiddels standaard;
- conversie van analoog naar digitaal signaal kan tot fouten leiden.

Welke aandachtspunten zijn van belang ten aanzien van datavalidatie?

- uitvoering validatie:
 - in huidige praktijk met name visuele beoordeling van tijdreeksen;
 - bij voorkeur zoveel mogelijk automatiseren;
- eisen datakwaliteit:
 - prestatieafspraken over volledigheid van tijdreeksen haalbaar;
 - prestatieafspraken over plausibiliteit van tijdreeksen NIET haalbaar;
- tijdsinspanning:
 - samen met leverancier naar oorzaken van afwijkingen zoeken vraagt veel tijd en geld.

5.1 PRESTATIES VAN SENSOREN

TEVREDENHEID OVER SENSORPRESTATIES

In het WERF/GWRC wordt geconcludeerd dat de tevredenheid van organisaties met online sensoren afhankelijk is van veel factoren. Dezelfde instrumenten toegepast in andere omstandigheden en met andere doelen leiden tot een verschillende waardering. Zelfs binnen dezelfde organisatie kan de waardering per afdeling verschillen. Er lijkt wel een duidelijke relatie met persoonlijke waardering of afkeer ten aanzien van een bepaald instrument of merk.

Over het algemeen hebben goed onderhoud, kalibratieprotocollen en goed opgeleid personeel een positieve invloed op de waardering. Ook is de waardering beter als sensoren gebruikt worden voor sturing in vergelijking met monitoring voor vergunningen of inzicht in systeem functioneren. Meestal is dan het onderhoud ook beter, omdat het belang van goede metingen groter is. Anders faalt namelijk de sturing.

Er moet nog wel een verbeteringsslag in gebruik en robuustheid gemaakt worden, voordat online sensoren bij een willekeurige eindgebruiker ingezet kunnen worden. De huidige generatie sensoren heeft zich bewezen bij technisch geavanceerde gebruikers. Ze zijn echter niet zomaar toepasbaar bij organisaties die hier niet of in mindere mate over beschikken.

AANDACHTSPUNTEN

De marktconsultatie laat zien dat naar de mening van de leveranciers de volgende aandachtspunten van belang zijn voor het goed functioneren van de sensoren:

- kies meetlocatie zodanig dat voldoende verversing van water gegarandeerd is;
- voorkom aangroei door algen en vervuiling van optische sensoren;
- zorg voor borging van kwaliteit van persoon die onderhoud doet;
- voorkom vervuiling van sensoren (in riolering altijd belangrijk punt van aandacht);
- zorg voor borging van datakwaliteit.

In de interviews is benoemd dat de meeste sensoren in principe ontworpen zijn voor gebruik in een actiefslibtank (weinig grove delen en geen vet). Sensoren hebben het daar relatief gemakkelijk. Inzet van de apparatuur in andere media zal naar verwachting leiden tot meer onderhoud en reinigen, waarbij het de vraag is wat dat doet voor de levensduur van de apparatuur. Met name voor toepassingen in de riolering zullen de onderhoudsfrequentie en de gevoeligheid van de apparatuur kritisch zijn. De sensoren zijn hier niet specifiek voor gemaakt, wat kan leiden tot meer problemen.

O₂ SENSOREN

Het betrouwbaar meten van zuurstof lijkt afhankelijk van de locatie en het type sensor. Er zijn gevallen waarin zuurstofmetingen goed werken, maar in sommige situaties lukt het niet om bruikbare metingen te krijgen. De sleutel is goed en frequent onderhoud. Optische sensoren zijn overigens veel betrouwbaarder voor het meten van O₂ dan membraan gebaseerde sensoren.

PH SENSOREN

pH sensoren vragen veel onderhoud. Het is niet bekend of deze sensoren bij bepaalde toepassingen meer of minder onderhoud vragen. Een pH sensor gaat over het algemeen 1 jaar mee en moet daarna vervangen worden. De juiste werking van deze sensoren moet continu in de gaten gehouden worden.

5.2 ONDERHOUD EN KALIBRATIE VAN SENSOREN

ONDERHOUDSFREQUENTIE

Uit de interviews blijkt overduidelijk dat vervuiling van de sensoren het grootste probleem is bij het verkrijgen van bruikbare metingen. Dit wordt voornamelijk genoemd bij meetprojecten in het oppervlaktewater.

Een onderhoudsfrequentie van eens per 4 weken wordt hierbij als het minimum gezien voor betrouwbare data, soms is frequenter onderhoud nodig. Een bepaalde zuurstofsensor blijkt zelfs om wekelijks onderhoud te vragen. Voor online sensoren in oppervlaktewater wordt bij voorkeur 1 x per maand onderhoud uitgevoerd. Kalibratie gebeurt gemiddeld 1 x per 2 maanden. De aanbevolen onderhoudsfrequentie voor sensoren in de riolering is 1 x per 2 weken. Dit geldt met name voor troebelheidssensoren.

Meermalen komt naar voren dat in het begin van meetprojecten er doorgaans aanloopproblemen zijn, die leiden tot aanpassingen aan de metingen en de onderhoudsfrequentie. De hoge noodzakelijke onderhoudsfrequentie leidt tot hoge kosten. Deze worden gemakkelijk onderschat.

Uit meerdere interviews komt ook de verwachting naar voren dat, op basis van de ervaringen in het oppervlaktewater, het onderhoud van kwaliteitsmetingen in de riolering frequenter en intensiever moet zijn om betrouwbare metingen te kunnen verzamelen. Hier is alleen nog weinig ervaring mee. Dit leidt tot hogere kosten en daarnaast zal het agressieve milieu in de riolering een negatieve invloed hebben op de levensduur van de sensoren.

ONDERHOUDSBEHOEFTE

Om betrouwbare meetdata te verkrijgen is structureel en degelijk onderhoud noodzakelijk. Het blijkt dat daarvoor werkprotocollen en intensief contact met de uitvoerenden van het onderhoud vereist zijn.

De ervaring is dat een leverancier het beheer en onderhoud inschat op basis van de gemiddelde vraag, maar het is maatwerk. Hierdoor sluit het vaak niet aan bij wat er in een project nodig is.

Het onderhoud van de sensoren is sterk afhankelijk van de locatie. Soms is vanwege vervuiling op een specifieke locatie frequenter onderhoud en reiniging noodzakelijk (bijvoorbeeld wekelijks of nog vaker). Daardoor is de post onderhoud bij het offrenen een risico voor de leverancier dat lastig in te schatten is.

Er is een duidelijke relatie tussen meetdoel en onderhoud. Als het meetdoel dat gekoppeld is aan een online sensor gedurende zijn levensduur veranderd, dan moet ook de onderhoudsbehoefte opnieuw bekeken worden en waar nodig aangepast.

Bij de marktconsultatie worden door verschillende leveranciers andere sensoren benoemd die volgens hen het meeste onderhoud vragen. Dit is mogelijk afhankelijk van de ervaring van de leverancier met een bepaald type sensor. Volgens de ene leverancier vraagt een geleidbaarheidssensor het meeste onderhoud, terwijl de andere leverancier juist aangeeft dat een geleidbaarheidssensor vrij onderhoudsarm is. Deze laatste leverancier ziet een troebelheidssensor als onderhoudsintensief. Deze sensor heeft een wisser, maar vereist ook een maandelijkse reiniging van de lens.

EIGEN BEHEER OF UITBESTEDEN?

Als installatiewerkzaamheden in eigen beheer worden uitgevoerd, geldt dat doorgaans ook voor het onderhoud. Bij een aanbestedingsvorm waarin levering en installatie bij een externe partij wordt neergelegd, wordt onderhoud daarin ook vaak meegenomen. Als onderhoud in eigen beheer wordt uitgevoerd, vraagt dit binnen de eigen organisatie om uitgebreide kennis van meten en van de meetapparatuur.

De WERF/GWRC-studie laat zien dat in het buitenland veel van het onderhoud van online sensoren wordt uitbesteed. De reden is vaak dat het onderhoud door de interne organisatie niet tot bevredigende resultaten leidde. Bij de uitbesteding worden prestatiecontracten gebruikt die de verzameling van waardevolle data moeten waarborgen.

RESERVE(ONDER)DELEN

Voor het uitvoeren van continue metingen is het aan te raden of een heel goed onderhoudscontract te hebben of zelf sensoren/dataloggers op voorraad te hebben voor als er iets kapot gaat. In de praktijk blijkt één sensor op de plank bij ongeveer vijf in gebruik niet overbodig. Deze verhouding is uiteraard wel afhankelijk van de toepassing.

Een aantal organisaties in het buitenland laat belangrijke of onderhoudsgevoelige sensoren zelfs 1x per maand vervangen door een identiek exemplaar. De verwijderde sensor wordt dan voor onderhoud en kalibratie naar de leverancier gestuurd. In Nederland staan soms extra exemplaren op de plank om direct te kunnen vervangen als een sensor niet meer goed functioneert

SENSORKALIBRATIE

Bij kalibratie is het belangrijk om te beseffen dat een sensor die gekalibreerd is voor routine omstandigheden niet de juiste meetwaarden hoeft te geven onder extremere condities. Dit geldt bijvoorbeeld voor sensoren in de riolering onder DWA en RWA condities. Beide vragen een eigen specifieke kalibratiecurve. Kalibratie voor RWA condities is vaak lastig, omdat op onvoorspelbare momenten voldoende en deskundig personeel beschikbaar moet zijn. De reden is dat neerslag lastig ver van te voren voorspeld kan worden en dat kalibratiemetingen aardig wat deskundigheid vragen. Ook de hoge kosten vormen een barrière voor RWA kalibraties.

Voor een aantal typen sensoren, bijvoorbeeld zuurstof, is het gebruikelijk om een éénpuntskalibratie uit te voeren. Dit is het ijkken van een sensor door deze in één specifieke samenstelling van een medium (lucht of vloeistof) te kalibreren. Een éénpuntskalibratie blijkt echter vrijwel altijd onvoldoende voor een betrouwbaar meetresultaat.

AANDACHTSPUNTEN

Online sensoren die worden toegepast in afvalwater hebben automatische reiniging nodig. Dit geldt met name voor optische en elektrochemische meetinstrumenten. Daarnaast moeten ze periodiek in het veld worden gereinigd en gekalibreerd, omdat automatische reiniging absoluut geen alternatief is voor periodieke reiniging en onderhoud.

Sensoren in een bypass (bijvoorbeeld een doorstroomcel of doorstroombak) geven veel vaker problemen. Met name verstopping van de pomp of de aanvoerleiding of sedimentatie in de bak leidt tot storingen en foutieve meetwaarden.

Sensoren die gebruik maken van een elektrode als meetelement zijn gevoeliger voor vervuiling en sensordrift. Verloop van sensoren is bij de meeste meetparameters een signaal dat er sprake is van een defect. Het is belangrijk sensoren hierop periodiek te controleren.

Ook mantelbuizen kunnen onderhoud nodig hebben. Bijvoorbeeld door aangroei van mosselen in oppervlaktewater kan de vrije doorstroming van de mantelbuis (volledig) verhinderd worden.

SPECIFIEKE SENSOREN

Hoewel het reinigen van pH elektrodes met zuur een effectieve oplossing is, wordt vanwege de lange reinigingsduur aanbevolen om deze sensoren schoon te geven.

UV-VIS sensoren vragen regelmatige kalibratie door afname van de intensiteit van de lichtbron in de tijd. Als de sensor droog komt te hangen levert dit sterk aangekoekte vervuiling op, die niet oplost als de sensor weer in (afval)water komt te hangen.

5.3 DATACOMMUNICATIE, -ONTSluitING EN -OPSLAG

MOGELIJKE PROBLEMEN

Uit de interviews blijkt dat er geen noemenswaardige knel- en aandachtspunten zijn bij de dataontsluiting. Data worden doorgaans draadloos via GPRS verzonden. Meetlocaties hebben een lokale buffer voor situaties met communicatieproblemen.

De literatuurstudie laat zien dat in een beperkt aantal gevallen wel sprake is van problemen in de datacommunicatie. Door data ook lokaal op te slaan kan de databeschikbaarheid toch worden gegarandeerd. Een andere oplossing is met de leverancier van de communicatie een contract af te sluiten waarin een minimale prestatie (bijvoorbeeld up-time van sensor en datalogger) wordt afgesproken in plaats van een minimaal te leveren inspanning. Een ander mogelijk probleem is de conversie van een analoog 4-20 mA signaal naar digitale informatie. Dit gaat niet in alle gevallen goed bijvoorbeeld door een onjuiste omzetting van het bit-signaal. Het is verstandig dit in elk meetsysteem te controleren bij oplevering.

Andere fouten in de datacommunicatie zijn fouten in de registratie van zomer- en wintertijd. Dit moet bij de oplevering gecheckt worden. Of er moet helemaal niet tussen zomer- en wintertijd geschakeld worden. Daarnaast kan de tijdsynchronisatie tussen verschillende sensoren misgaan. Dit kan periodiek gecontroleerd worden door meetwaarden in de database te vergelijken met handmetingen.

VAN DATA NAAR INFORMATIE

De hoeveelheid data die beschikbaar komt uit een meetproject is vaak wel zo groot dat het onmogelijk is om deze handmatig te beoordelen en evalueren. Daarom moeten specifieke tools ontwikkeld worden om de data om te zetten in informatie. Hier beginnen goede oplossingen voor te komen in de markt. Tools voor automatische validatie en analyse van meetgegevens zijn nog wel volop in ontwikkeling.

5.4 DATAVALIDATIE

WAT IS HUIDIGE AANPAK?

Validatie en interpretatie van data gebeuren bij voorkeur op basis van ‘gezond verstand’. Uit de interviews komen verschillende aanpakken voor datavalidatie naar voren. Zo wordt in een aantal gevallen de data periodiek met behulp van automatische software gecontroleerd, in één geval wordt alleen een basisvalidatie uitgevoerd (en onvoldoende bevonden) en in een ander geval wordt geautomatiseerde validatie niet zinvol geacht. De reden is dat disfunctioneren van een sensor en ‘vreemd’ gedrag in het watersysteem niet goed van elkaar kunnen worden onderscheiden. De enige oplossing hiervoor zou zijn om als specialist met kennis van de werking van het watersysteem en met kennis van meten naar de data te kijken. Vervolgens de sensoren te vergelijken en op basis hiervan vast te stellen of de metingen betrouwbaar zijn. Validatie en interpretatie van data lopen dan wel erg in elkaar over.

Volgens het WERF/GWRC-rapport wordt datavalidatie momenteel vooral gedaan door een visuele beoordeling van de tijdreeksen. In een enkel geval is dit gesplitst in een primaire validatie ter beoordeling van het technische functioneren van de sensoren en een secundaire validatie waarmee getracht wordt relaties tussen gemeten waarden en sensoren op verschillende locaties in het systeem in beeld te krijgen. Beide onderdelen zijn bij deze organisatie zoveel mogelijk geautomatiseerd.

CONTINUE AANDACHT VEREIST

Ervaring bij niveaumetingen is dat kwaliteit van metingen hoog is als de data continu gevalideerd wordt. Er wordt dan gecontroleerd op volledigheid en plausibiliteit van meetreeksen. Bij verslapping van het toezicht op de datakwaliteit verslapt vaak ook de aandacht van de leverancier/aannemer. Bij waterkwaliteitsmetingen kan de leverancier/aannemer alleen worden afgerekend op volledigheid, omdat afspraken over plausibiliteit van meetwaarden leiden tot een hoge aanbiedingsprijs. Dit betekent dat bij afwijkingen in termen van plausibiliteit niet kan worden afgekeurd, maar dat gezamenlijk naar de oorzaak van de afwijking moet worden gezocht. Dit vraagt om een aanzienlijke extra tijdsinspanning van de opdrachtgever.

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

HOOFDSTUK 6 SAMENGEVAT

Wat zijn de succesfactoren van een meetproject?

- goed beeld van behoeften en specificaties;
- goede, sluitende business case;
- benodigde middelen voor aanschaf en onderhoud beschikbaar;
- robuuste sensoren die betrouwbare data produceren;
- voldoende training van operators en onderhoudspersoneel;
- onderhouds- en kalibratieprotocollen beschikbaar.

6.1 WAAROM WEL METEN?

Toepassing van online sensoren leidt tot besparingen op met name laboratoriumkosten. Daar staat een kostenverhoging tegenover voor beheer en onderhoud van de online instrumenten.

Voor oppervlaktewater en riolering zijn verplichtingen om te meten, transparantie over geleverde inspanningen en een goed imago belangrijke drivers.

Hoewel processturing en optimalisatie de allerbelangrijkste drivers zijn voor de toepassing van online waterkwaliteitssensoren in drinkwaterwinning en -productie, en afvalwaterzuivering, zal dit voor oppervlaktewater en riolering minder het geval zijn. De sturingsmogelijkheden in deze systemen zijn immers beperkter.

Beschikbaarheid van meetgegevens (al dan niet real-time) kan helpen bij het beantwoorden van vragen over het functioneren van oppervlaktewater en riolering. Hiermee kan de besluitvorming over investeringen die momenteel vooral gebaseerd is op modelresultaten beter worden onderbouwd. Modellen worden aangevuld met metingen van het werkelijk systeemgedrag en waar mogelijk verder verbeterd.

In afvalwatersystemen kan veiligheid ook een driver zijn voor de toepassing van online waterkwaliteitssensoren. Het gaat dan vooral om het meten van toxische stoffen en explosieve gassen in de riolering en op de RWZI.

Online metingen geven veel meer inzicht in het systeemgedrag in de tijd en reduceren de behoefte aan monsternames in het veld c.q. veldmetingen significant. De hoge temporele resolutie van online metingen is ook van belang voor modellen van oppervlaktewater en riolering. Deze modellen moeten gevoed worden met betrouwbare meetreeksen.

6.2 WAAROM (NOG) NIET METEN?

ORGANISATIE

Een gebrek aan voldoende geschoold personeel vormt nog een belangrijke barrière voor het inzetten van online waterkwaliteitssensoren. Ook bij uitbesteding is nog veel kennis over meten vereist in de eigen organisatie. Met name de verwerking en interpretatie van de enorme hoeveelheid data die geproduceerd wordt door online sensoren vraagt specifieke vaardigheden. Deze vaardigheden zijn meestal niet aanwezig onder het personeel dat traditioneel bij waterschappen en gemeenten werkzaam is.

Het is vaak lastig om de noodzakelijke kwaliteitsborging van online sensoren te organiseren. Hierdoor krijgen beheer en onderhoud, sensorcalibratie en datavalidatie niet de benodigde aandacht.

Een belangrijk aandachtspunt is het op de juiste manier integreren van online monitoring van waterkwaliteit in de organisatie. Dit lukt nu vaak niet goed genoeg. Voor een goede integratie moet voldaan worden aan de volgende principes:

- zorgvuldige bepaling van de doelen en de beste oplossing om die te halen;
- integratie van het online monitoring systeem op alle niveaus in de organisatie (vraagsteller, financier, beheerder, et cetera);
- data actief gebruiken ter ondersteuning van processen en besluitvorming in de organisatie;
- goed managen van de verwachtingen (meestal meer inspanning en geld nodig dan in eerste instantie begroot).

KOSTEN

Daarnaast zijn de benodigde middelen om de huidige generatie online sensoren in de lucht te houden nog erg hoog. Alleen als het directe economische voordeel zeer groot is, kan de investering in online sensoren (aanschaf, en beheer en onderhoud) financieel uit. Als dit niet het geval is, vormen kosten een grote barrière.

De operationele kosten zijn vaak veel hoger dan de aanschafkosten van de apparatuur. Dit wordt alleen maar meer als sensoren op afgelegen, lastig bereikbare plaatsen geïnstalleerd moeten worden. Bovendien vallen de kosten van sensoronderhoud vaak veel hoger uit dan in eerste instantie begroot. De beschikbare informatie van leveranciers is niet altijd realistisch. Het is belangrijk om informatie uit de eerste hand te verzamelen van eindgebruikers van specifieke sensoren.

SENSORPRESTATIES

Het is op voorhand onmogelijk om te voorspellen hoe de prestaties van online sensoren in het veld zullen zijn ondanks dat er informatie is over functionele specificaties en soms standaarden voor het testen van sensoren voorhanden zijn.

Omdat meetprojecten aanbesteed moeten worden, moet soms de gunningsbeslissing gebaseerd worden op andere aspecten dan wat het best bij de toepassing past. Dit kan ook betekenen dat er weinig continuïteit is, omdat aannemers wijzigen of andere sensoren toegepast worden. Dit staat de ontwikkeling van goed ingeburgerde en gestandaardiseerde procedures en kennisontwikkeling bij eindgebruikers in de weg.

Vaak moet op afgelegen locaties gemeten worden. Het kan lastig zijn om daar de noodzakelijke stroomvoorziening en andere infrastructuur te realiseren.

6.3 WAT BEPAALT HET SUCCES?

In verschillende studies is een aantal eenvoudige, maar cruciale factoren geïdentificeerd die bepalend zijn voor het succes van online monitoring van waterkwaliteit:

- actief en correct gebruik van meetdata in de organisatie borgen;
- behoeften en specificaties goed vastleggen;
- goede, sluitende business case opstellen;
- benodigde middelen voor aanschaf en onderhoud zijn beschikbaar;
- robuuste sensoren die betrouwbare data produceren;
- voldoende training van operators en onderhoudspersoneel voorzien;
- onderhouds- en kalibratieprotocollen opstellen en beschikbaar maken;
- slagingskans van de aanbesteding verhogen door locatie bezoek met alle inschrijvers;
- duurproef met mogelijke sensoren uitvoeren voorafgaand aan keuze apparatuur.

Factoren die juist het succes van een meetproject in de weg zitten zijn:

- de markt is niet transparant, waardoor niet duidelijk is wat een sensor precies kan;
- er bestaat grote variatie in sensor types;
- realistische informatie over sensor prestaties is lastig te verkrijgen;
- aanschaf- en onderhoudskosten worden vaak te laag ingeschat;
- on-line meten met waterkwaliteitssensoren vraagt veel kennis in de organisatie;
- vooraf prestaties van sensoren op specifieke locatie inschatten is lastig.

Verder wordt de gezamenlijke kennisontwikkeling geremd, omdat:

- onderzoek naar sensorprestaties erg ad-hoc en ongecoördineerd is;
- er weinig contact is tussen organisaties en landen over onderzoeksresultaten of met andere vakgebieden.

6.4 WELKE VERVOLGSTAPPEN WORDEN AANBEVOLEN?

Als vervolg op dit rapport wordt aanbevolen om:

- de 'kring monitoring' een leidende rol te geven in de ontwikkeling van het meten (https://www.linkedin.com/groups?home=&gid=4830592&trk=anet_ug_hm);
- online meten van waterkwaliteit in kleine stapjes uit te rollen bij de waterschappen;
- ervaringen met apparatuur en leveranciers actief uit te wisselen via de 'kring monitoring'.

BIJLAGE I

OVERZICHT LITERATUUR

- 1 Andersson, M. T.; Lynggaard-Jensen, A. s::can spectrolyser verification report; NOVATECH: 2010.
- 2 Awwa Research Foundation; CRS ProAqua, Online Monitoring for Drinking Water Utilities. 2002. ISBN 1-58321-183-7.
- 3 Gruber, G.; Winkler, S.; Pressl, A., Continuous monitoring in sewer networks an approach for quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies. *Water Science & Technology* 2005, 52 (12), 215-223.
- 4 Hall, J. S.; Szabo, J. G.; Panguluri, S.; Meiners, G. Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results - A Guide for Sensor Manufacturers and Water Utilities; EPA 600/R-09/076; 2009.
- 5 Lepot, M.; Aubin, J.B.; Bertrand-Krajewski, J.L. Accuracy of different sensors for the estimation of pollutant concentrations (total suspended solids, total and dissolved chemical oxygen demand) in wastewater and stormwater. *Water Science & Technology* 2013; 68(2), 462-471.
- 6 Londong, J.; Wachtl, P., Six years of practical experience with the operation of online analyzers. *Water Science & Technology* 1996, 33 (1), 159-164.
- 7 Palmer, T. M.; Ross, M. C.; Nutt, S. G.; Kharkar, S., Online Nitrogen Monitoring and Control Strategies; 03-CTS-8; WERF: 2007.
- 8 Pressl, A.; Winkler, S.; Gruber, G., In-line river monitoring - new challenges and opportunities *Water Science & Technology* 2004, 50 (11), 67-72.
- 9 Rieger, L.; Langergraber, G.; Kaelin, D.; Siegrist, H.; Vanrolleghem, P. A., Long-term evaluation of a spectral sensor for nitrite and nitrate. *Water Science & Technology* 2008, 57 (10), 1563-1569.
- 10 Rouault, P. Monitoring von Wassergüteparametern an Mischwasserüberläufen; Kompetenzzentrum Wasser Berlin: Project MONITOR Deliverable 2, 2009. (in German).
- 11 Schilperoort, R. P. S.; Dirksen, J.; Clemens, F. H. L. R. Practical Aspects for long-term monitoring campaigns: pitfalls to avoid to maximise data yield, 11th international conference on urban drainage, Edinburgh, U.K., 2008.
- 12 Schilperoort, R. P. S.; Dirksen, J.; Langeveld, J. G.; Clemens, F. H. L. R., Assessing characteristic time and space scales of in-sewer processes by analysis of one year of continuous in-sewer monitoring data. *Water Science & Technology* 2012, 66 (8), 1614-1620.
- 13 U.S. EPA Office of Water Technologies and Techniques for Early Warning Systems to Monitor and Evaluate Drinking Water Quality: State-of-the-Art Review; EPA 600-R-05-156; 2005.
- 14 Winkler, S.; Bertrand-Krajewski, J.-L.; Torres, A.; Saracevic, E., Benefits, limitations and uncertainty of in situ spectrometry. *Water Science & Technology* 2008, 57 (10), 1651-1658.
- 15 Winkler, S.; Rieger, L.; Saracevic, E.; Pressl, A.; Gruber, G., Application of ion-sensitive sensors in water quality monitoring. *Water Science & Technology* 2004, 50 (11), 105-114.

BIJLAGE II

VRAGENLIJST INTERVIEWS

1. Hoe zijn de werkzaamheden aanbesteed? Zijn de sensoren door het waterschap aangeschaft en zelf geïnstalleerd en onderhouden of is het onderhoud aan de aannemer uitbesteed? Welke contractvorm is hierbij gebruikt?
2. Zou u bij een volgend project weer kiezen voor deze vorm van aanbesteding en/of contract? En waarom?
3. Welke waterkwaliteitssensoren zijn gebruikt in het project/object? Welk type sensor is gebruikt? Wie is de leverancier? Wat zijn de eigenschappen van de sensor (stroomvoorziening, meetbereik, etc.)?
4. In welk onderdeel van de waterketen is/zijn de sensor(en) geïnstalleerd (riolering, rwzi, stedelijk oppervlaktewater, beek, rivier, meer et cetera)?
5. Welke keuzes zijn gemaakt bij de selectie van de sensoren?
6. Waren er problemen bij de installatie van de sensoren?
7. Is er tijdens de uitvoering van het project sprake geweest van storingen van de sensoren. Hoe vaak is dit opgetreden? Wat was de oorzaak van de storing (defecte sensor, vuile sensor, storing datacommunicatie)?
8. Wie heeft het onderhoud uitgevoerd? Met welke frequentie? En was dat voldoende?
9. Zijn er nog andere bijzonderheden ten aanzien van de waterkwaliteitssensoren, het functioneren en de installatie ervan?
10. Op welke wijze werden de data uitgelezen (bijv. SMS, GPRS, laptop)?
11. Wat was de kwaliteit van de meetdata?
12. Wat is er met de meetdata gedaan en wat heeft het opgeleverd?