



## Een eerste kennismaking met onderwaterdrones in Indonesië

*Floris Boogaard (Tauw, Hanzehogeschool Groningen), Rui de Lima (INDYMO), Daru Setyorini (ECOTON), Martin Beusekom (Blue Eagle Consultancy), Christa Nooy (Indonesia Specialist Community Involvement), Rutger de Graaf (Hogeschool Rotterdam, INDYMO)*

**Een consortium van Indonesische en Nederlandse organisaties is begonnen met een grootschalig internationaal onderzoek naar oplossingen voor de slechte kwaliteit van oppervlaktewater in Soerabaja, Indonesië. Hierbij worden innovatieve participatieve meetmethoden ingezet, waaronder aquatische drones en apps. De eerste resultaten wijzen uit welke vervuilende bronnen en locaties aangepakt moeten worden: industrieel en huishoudelijk afvalwater. Tijdens de interactie bij de metingen is gewerkt aan verhoging van de betrokkenheid van de stakeholders, educatie en bewustwording. Tijdens deze internationale kennisuitwisseling over waterkwaliteitsverbetering worden de ‘lessons learned’ uit de Nederlandse topsector water toegepast, een van de belangrijkste exportproducten van Nederland.**

In Nederland worden steeds vaker onderwaterdrones ingezet voor aquatische monitoring van ecologie en waterkwaliteit. Het eerste grootschalige nationale onderzoek met aquatische drones werd in 2013 uitgevoerd in het kader van het programma ‘Collaboratorium Klimaat en Weer’ [1] naar de waterkwaliteit onder drijvende woningen door Tauw, DeltaSync en Deltares en de hogescholen van Rotterdam en Groningen, waaruit bleek dat de effecten op o.a. zuurstofgehalte klein waren en het goede ecologische vestigingsplaatsen (o.a. mosselen en schuilplaatsen zijn voor kleine vissen) [2]. Na dit onderzoek hebben twee betrokken lectoren in 2015 het bedrijf INovatieve DYnamische MONitoring (INDYMO) opgericht om de toepassing van aquatische drones in waterbeheer verder te onderzoeken in nauwe samenwerking met diverse overheden en kennisinstituten. INDYMO verbindt onderzoek, ondernemerschap en onderwijs en heeft vestigingen in YES!Delft en de watercampus in Leeuwarden, die nauw samenwerken met o.a. TU Delft en de hogescholen Groningen, Rotterdam en hogeschool Van Hall Larenstein.

Voor onderzoeksdoeleinden zijn verschillende aquatische drones gemobiliseerd (zie afbeelding 1), uitgerust met onderwatercamera’s en diverse sensoren die verschillende parameters continu meten (o.a. zuurstofgehalte, nutriënten, geleidbaarheid, temperatuur, doorzicht, pH, diepte, chlorofyl).



*Afbeelding 1. De 'vloot' onderwaterdrones toegepast voor diverse onderzoeksdoeleinden.*

De drones worden met name gebruikt voor monitoring van de waterkwaliteit, maar ook steeds meer voor andere doeleinden, zoals weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Onderzoekdoeleinden waarvoor onderwaterdrones worden toegepast (en uitvoerende organisaties en verwijzingen naar publicaties met detailresultaten)

Onderzoekdoeleinden aquatische drones	Uitgevoerd door o.a.
Monitoring waterkwaliteit (zoals: zuurstofgehalte, nutriënten, chlorofyl en hoofdparameters als geleidbaarheid, pH en temperatuur) [3]	Diverse waterschappen en gemeenten als Groningen, Amsterdam en Leeuwarden
Inspecties van kunstwerken (inschatting schade of gewenst onderhoud van civieltechnische constructies als sluizen en kademuren)	Waterschap Rijn en IJssel en Hoogheemraadschap van Delfland
Monitoring 'aquatische ecologie' (zoals de quaggamossel) [4]	Waternet en Rijkswaterstaat
Evaluatie van waterkwaliteit in duurzame woonwijken en natuurvriendelijke oevers	Wetteskip Fryslan i.s.m. VHL en gemeente Leeuwarden, Drachten en Delft, hogeschool Rotterdam en Hanze hogeschool Groningen
Monitoring effectiviteit van maatregelen uit kaderrichtlijn water als luchtbeschermen of vispassages [5]	Hoogheemraadschap Rijnland en waterschap de Dommel
Effect drijvende constructies op waterkwaliteit [6]	Hoogheemraadschap Delfland, gemeenten Utrecht, Groningen, Amsterdam.
Opsporen en handhaving lozingen (zoals vuilwaterlozingen en riooloverstorten)	Hoogheemraadschap van Delfland
Onderzoek effecten van zoutwaterintrusie op ecologie en landbouw op (natuur)gebieden en vaarwegen	Rijkswaterstaat en waterschap Hunze en Aas
Onderzoek naar seizoensafhankelijke zuiveringsvoorzieningen zoals helofytenvelden	Waterschap Drentse Overijsselse Delta
Ontstaan en bestrijding van blauwalg	o.a. waterschap Zuiderzeeland en waterschap Hunze en Aas
Overige doeleinden als monitoring natuurvriendelijke oevers en vispassages, monitoring van erosie en sedimentatie, bagger en slibophoping in watergangen	Diverse waterschappen en gemeenten

Zoals uit tabel 1 valt op te maken zijn de mogelijkheden van onderzoek met aquatische drones op veel

plekken in Nederland al door INDYMO onderzocht (video-impressies kunt u zien in deze [video](#)). Om deze reden is internationale kennisuitwisseling gestart met verschillende organisaties in Azië en Afrika, continenten waar watervervuiling een groot probleem is en grote maatschappelijke gevolgen heeft. In Soerabaja-stad, Indonesië, waar ook drone-metingen werden uitgevoerd, worden nog steeds 4 op de 10 mensen elk jaar ziek door vervuild water. De meest voorkomende ziekten zijn spier- en huidandoeningen, diarree en longziekten. Ook tast de vervuiling de belangrijkste inkomstenbronnen van de bevolking aan, de visstanden dalen (door vissterfte) en voedselopbrengsten zijn afgenomen.

### Waterkwaliteit internationaal: Indonesië

De waterkwaliteit in veel Aziatische landen - zoals Indonesië - staat erg onder druk vanwege slecht vastafvalbeheer, hoge bevolkingsgroei en het ontbreken van afvalwaterinzamelings- en zuiveringssystemen voor huishoudens en industrie (zie afbeelding 2b). Decennia geleden was dit ook de situatie in Europa met zuurstofloze rivieren en Nederlandse grachten die gebruikt werden om huishoudelijk afval in te dumpen (zie afbeelding 2a). Het heeft ons tientallen jaren gekost om de kwaliteit van ons oppervlaktewater te verbeteren, maar het is ons gelukt dankzij aanpassing en uitbreiding van regelgeving, aanleg van voorzieningen zoals riolering en maatschappelijke bewustwording. Deze 'lessons learned' zijn van groot belang bij internationale kennisuitwisseling van de Nederlandse topsector water, een van de belangrijkste exportproducten van Nederland. Een eerste stap hierin is het onderzoeken van de huidige 'referentiesituatie' in Indonesië en het bepalen van de ambitie en strategie met de diverse stakeholders. Hierbij is samenwerking met diverse multifunctionele internationale organisaties van groot belang.



Afbeelding 2a. Vervuilde grachten in Nederland, rond 1970 (bron: stadsarchief Amsterdam); afbeelding 2b. Vervuilde wateren in Indonesië waarbij onderwaterdrones zijn ingezet

### Participatie en organisatie

Bij het opzetten van een internationaal participatie- en kennisuitwisselingsproject is het van belang om zowel maatschappelijke organisaties als publieke en private partijen aan tafel te hebben in de vorm van de *quadriple helix* (ngo's, overheid, ondernemers en onderzoek en onderwijs) [7]. In dit consortium zijn diverse partijen, waaronder Tauw, TU Delft, het onderzoeksinstituut WLN, INDYMO, Hanzehogeschool Groningen, gekoppeld aan de Indonesische organisaties ECOTON (NGO), Jasa Tirta 1 (te vergelijken met een waterschap), BBWS (*River Basin*-beheerorganisatie) en de technische universiteit ITS Surabaya. Het fysiek bij elkaar brengen van deze organisaties is van groot belang. Dit is gerealiseerd in een baselinestudie

om de referentiesituatie en ambities te bepalen. Het enkele dagen bij elkaar brengen van partijen bleek kinderlijk eenvoudig met de onderwaterdrone. De reacties waren 'die moet ik zien, mag ik hem ook besturen?'

De smeerolie tussen deze partijen is de lokale organisatie ECOTON, een burgerinitiatief om de vervuiling van de Brantas- en Soerabajarivier te stoppen en deze weer gezond te maken. Sinds 2005 heeft ECOTON al een aantal initiatieven gestart die verdere vervuiling van de rivier zijn tegengegaan. Een aantal voorbeelden zijn: (i) het burgerinitiatief waterkwaliteitsmonitoring, (ii) het organiseren van rechtszaken tegen vervuilers en de overheid, (iii) bewustwordingscampagnes onder de meest kwetsbare groepen over de gevaren van vervuild water (o.a. door het plaatsen van waarschuwingsvlaggen (zoals bij de Nederlandse kust als er gevaarlijke wind staat) wanneer de vervuiling extreem hoog is, (iv) het ondersteunen van waterbeschermingsinitiatieven (zoals visreservaten en bronbescherming), en (v) een dialoog met de industrie om hun afvalwaterbeheersystemen op orde te krijgen. Deze initiatieven heeft ECOTON ontwikkeld met betrokkenheid van burgers en een goede samenwerking met de lokale overheid en een aantal *green industrial champions*. Alhoewel de waterkwaliteit niet meer verslechtert (iets waar ECOTON de Goldman Environmental Prize - ook wel de Nobelprijs op milieugebied genoemd - voor heeft gekregen van voormalig president Obama) zijn de samenwerkingsinitiatieven fragiel en gedeeltelijk ongecontroleerd door gebrek aan coördinatie tussen de verschillende lokale overheidspartijen die verantwoordelijk zijn voor de diverse aspecten van water kwaliteitsbeheer: data verzamelen, modellering, regelgeving, monitoren en planning. Bovendien wordt het dichtbevolkte Brantas-rivierbassin vanwege het economisch belang centraal aangestuurd vanuit de ministeries van Publieke Werken (PUPR) en Milieu en Bosbouw (KLHK). Dit internationale project brengt de verschillende partijen en oplossingen dicht bij elkaar.

### **Meetmethoden**

Om de referentiesituatie te bepalen (huidige waterkwaliteit en emissies) zijn verschillende meetmethoden toegepast op verschillende locaties in de regio's Soerabaja en Malang die samen met Indonesische partners zijn gekozen. De Indonesische partners meten zelf ook aan de waterkwaliteit, maar het betreft vaak steekmonsters of statische metingen met sensoren (op één plek). Een belangrijk leerdoel van het gezamenlijk onderzoek is te laten zien dat een steekmonster niet representatief is voor een waterlichaam, gezien de waterkwaliteitparameters in ruimte (x, y en diepte) en tijd (dag/nacht en seizoen) sterk kunnen variëren. De Indonesische partners hebben nieuwe monitoringsmethoden geleerd om beter inzicht te krijgen in de kwaliteit van hun leefomgeving (water, ecologie, waterbodem) en factoren die daar invloed op hebben. Aangezien bij het opzetten van dit project participatie en *governance* centraal staat heeft INDYMO meetmethoden met hoge interactie geselecteerd (zie tabel 2 en afbeelding 3 en 4).

Tabel 2: Meetmethoden baselinestudie

Afb.	Meetmethode	Omschrijving
3b	Aquatische drones met sensoren en camera's	Camera's worden gebruikt als 'ecoscan' voor herkenning van aquatische ecologie (flora en fauna). De sensoren op de drone geven een 3D-beeld van diverse parameters (zoals O <sub>2</sub> , Ec, T, N)
3a	Inspectie kunstwerken met HD-camera's	HD-camera's en hoge-intensiteitsduiklichten zijn bevestigd op de drone voor inspectie van een dam en een duiker tussen 2 stuwweren
4b	Teststrips en apps	Teststrips worden uitgelezen met mobiele telefoon (N, P, EC, ph en andere parameters)
3a	Sensoren bevestigd op vissersboten (dynamisch)	Sensoren op boten brengen de waterkwaliteit van grote rivieren in kaart (parameters o.a.: O <sub>2</sub> , Ec, T, N)
4a	Biomonitoring	Monsters van soort en kwantiteit micro-organismen die een indicatie geven van de waterkwaliteit
	Analyse in het veld	Diverse meetinstrumenten om hoofdparameters in het veld te bepalen (ph, EC, O <sub>2</sub> , temperatuur e.a.)
	Sensoren bij uitlaten (statisch)	Sensoren zijn bevestigd bij o.a. (industrie-)lozingspunten voor indicatie van waterkwaliteit en -kwantiteit. Geeft inzicht in tijdstippen van bv. discontinue (illegale) lozingen
	Diepteprofielensensoren (dynamisch)	In de diepe wateren zoals het Sutami-stuwmeer (ca. 40 m diep) zijn diepteprofielen van diverse parameters gemaakt om de variatie in concentraties te illustreren
	Diverse geplande innovatieve monitoringsmethoden.	Waterkwaliteitsanalyse met satellietbeelden, <i>batch monitoring</i> met adsorbenten, social media, Digital Elevation Models etc.



Afbeelding 3a. Sensoren op vissersboot. B. Onderwaterdrone in bovenstrooms schoon turbulent water. C. uitleg waterkwaliteitsmetingen in stuwdam



Afbeelding 4a. Uitleg waterkwaliteitsmetingen met teststrips en apps; 4b. Biomonitoring door ECOTON.

### Situatie

De schattingen van de vrachten ongezuiverd afvalwater in de Javaanse regio's Soerabaja en Malang lopen erg uiteen, net als exacte bevolkingsaantallen. De stad Soerabaja heeft een oppervlakte van 459,5 km<sup>2</sup> en een geschat inwonertal van ruim 3 miljoen. Malang betreft een oppervlakte 124 km<sup>2</sup> met een inwoneraantal rond 1 miljoen. Het grootste gedeelte van het grootstedelijk gebied is uitgerust met septictanks en gebouwen dicht bij de rivier lozen hun afvalwater direct op de rivier. Er zijn geen rioolwaterzuiveringen aanwezig. Drinkwaterbedrijven halen hun water uit het oppervlaktewater, die soms direct benedenstrooms van industrieën zijn gelegen. De grootschalige industrie bestaat met name uit suikerbiet- en papierindustrie. Daarnaast zijn er kleine bedrijfjes (o.a. slachterijen) die hun water direct op de rivier lozen.

### Resultaten

Om de bereidheid tot samenwerken en de participatie te vergroten zijn de resultaten van de metingen in dezelfde week gepresenteerd en besproken (afbeelding 5a) en in de nationale media gepubliceerd (afbeelding 5b). Er zal nog een uitgebreide rapportage volgen met vergelijking van meetresultaten uit meerdere jaren.



Afbeelding 5. Bespreking meetresultaten bij Jasa Tirta1 en kort verslag van metingen in Indonesische media

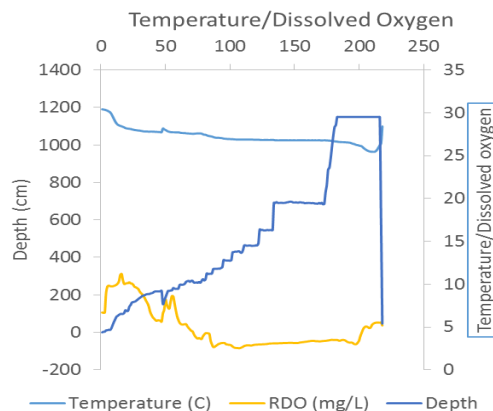
De meeste meetresultaten waren in het veld direct beschikbaar en werden *on site* besproken met alle partners. Zo nam men aan dat drijvende visvijvers door het overmatig gebruik van visvoer verantwoordelijk waren voor hoge nutriënt- en lage zuurstofgehalten. Uit metingen bleek dat de kwaliteit echter niet veel afweek van die op andere locaties (zowel aan de oppervlakte tot op diepten van 35 meter, gemeten met de drone). Wel zijn er duidelijke indicaties dat de waterbodem vervuild is door accumulatie van verontreinigingen. Geadviseerd is om naast de waterkwaliteit ook metingen aan de slibbodem te verrichten. Ook is inzicht in het gedrag van verontreinigingen van belang voor het ontwerpen van eventuele zuiverende voorzieningen.

Er zijn metingen gedaan tot op ongeveer 35 meter diepte, waar lagere temperaturen en zuurstofgehalten worden gemeten en stratificatie zichtbaar wordt (zie afbeelding 6b). De metingen met sensoren op vissersboten gaven locaties aan waar de waterkwaliteit slechter was dan op andere locaties (zie afbeelding 6a). Deze locaties worden in verband gebracht met de diverse lozingspunten van huishoudelijk afvalwater en lozingen vanuit industrie (in de rivier worden hoge BZV- en CZV- gehalten gemeten).

De industrieel gerelateerde metingen worden (nog) niet gepubliceerd maar eerst binnen het project met de branche en individuele bedrijven in constructieve, open dialoog besproken. Het gezamenlijk tot een duurzame, kosteneffectieve oplossing komen is een van de belangrijkste opgaven van het consortium in de komende jaren.

Niet alle metingen waren overigens succesvol. Een geplande inspectie van een duiker op 8 meter diepte met een doorsnede van 7 meter die 2 stuwmeren verbindt was erg moeilijk, aangezien het doorzicht van het water erg beperkt was. Ook is de stroomsnelheid van sommige rivieren te groot om goed te kunnen navigeren met de drone.





Afbeelding 6a. Meetresultaten geleidbaarheid in rivier naar zee; 6b. Diepteprofiel

## Toekomst

Het consortium gaat op basis van deze eerste nieuwe inzichten met een inmiddels enthousiaste, sterk uitgebreid team het onderzoek verder detailleren en uitvoeren. Hierbij wordt een link gelegd met diverse internationale projecten met onder andere Nederlandse waterschappen, die een belangrijke bijdrage kunnen leveren in het delen van hun ervaringen in techniek en *governance*. Ook zullen de ‘best management practices’ omtrent waterkwaliteitsmetingen, afvalmanagement, bewustwording en *governance* uit andere projecten in landen als India, de Filipijnen en China worden toegepast. Het consortium hoopt dat de mensen in Indonesië binnen enkele jaren verbetering zien in de waterkwaliteit en gemotiveerd blijven om in de toekomst een duurzaam leefmilieu voor mens en dier te behouden.

Video-impresie Indonesiëpilot: <https://www.youtube.com/watch?v=saq8JKuZ9gU>

Impresie diverse nationale pilots (tabel 1): <https://www.youtube.com/watch?v=xdtEy4ntJaw>

Overige video's van specifieke locaties zijn beschikbaar op <https://www.climatescan.nl>

## Referenties

1. Collaboratorium Klimaat en Weer, Klimaatkennis levert geld op, De resultaten van het Valorius programma Stichting Klimaat voor Ruimte en de CKW-partners, Haarlem, juli 2015.
2. Boogaard, F., Graaf, R. de, Dionisio Pires, M., Lima, R. de (2016). Weinig invloed op ecosystem onder drijvende objecten, *Land en Water* 10 (oktober 2016) 27-29
3. Schampers, W. en Boogaard, F. (2016) 3D Scan geeft dynamisch inzicht waterkwaliteit vijvers Groningen, *vakblad riolering* oktober 2016.
4. Boogaard F., Stroom J., Lima R. de, (2016). ‘De meerwaarde van een onderwaterdrone bij het monitoren van oppervlaktewater, pilot Slotterplas, *H2O-Online*, 6 april 2016. <https://www.h2owaternetwerk.nl/index.php/vakartikelen/510-de-meerwaarde-van-een-onderwaterdrone-bij-het-monitoren-van-oppervlaktewater-pilot-slotterplas>
5. Kroes M., Boogaard F., Graaf R. de (2015). Bemonsteren met drones, *Visionair* 35 (2015), <http://www.kroes-consultancy.nl/wp-content/uploads/2015/04/Artikel-Visionair-maart-2015-onderwater-drone.pdf>

6. Lima R. de, Boogaard F. C., Graaf. R. E. de. (2015). Innovative dynamic water quality and ecology monitoring to assess about floating urbanization environmental impacts and opportunities, International Water Week 2015, Amsterdam.
7. Boogaard F., Heikoop R, Palsma M., Boer E. de (2016) Effective international knowledge exchange to rehabilitate rivers in urban delta's: case study Metropolitan Manilla, ICSEWR, Melaka. Malaysia, December 2016.