

Onderwaterdrones in onderwijs en onderzoek

Paul van Eijk (Hogeschool Van Hall Larenstein/CEW), Rui de Lima (INDYMO), Jan Roelsma (Wetterskip Fryslân), Lisette van der Berg (Hogeschool Van Hall Larenstein)

Wetterskip Fryslân, Hogeschool Van Hall Larenstein en Indymo voeren onderzoek uit naar de bruikbaarheid en toepassingsmogelijkheden van onderwaterdrones in het werkveld. Er zijn veel toepassingen mogelijk, zoals waterkwaliteitsmonitoring en inspectie van kunstwerken. Met van drones kan het watersysteem beter in beeld worden gebracht, wat uiteindelijk de waterkwaliteit ten goede zal komen. Ondanks de grote inzetbaarheid van drones zijn er nog veel wensen om ze beter te laten aansluiten bij de eisen in het veld.

In 1950 kocht Jacques Cousteau (1910-1997) de Calypso. Dit schip was decennialang het decor voor het onderzoek van de ontdekkingsreiziger. Vanaf de Calypso zijn prestigieuze innovaties en ontwikkelingen in gang gezet in het onderzoek naar de onderwaterwereld. Ook met zogenoemde *Remote Operating Vehicles* (ROV's). Innovatieve methoden om onder water te kijken en te meten met ROV's (zoals onderwaterdrones) zijn nog altijd volop in ontwikkeling. Niet alleen beeld maar ook sensoren hebben grote meerwaarde om in het *big data*-tijdperk een 3D-beeld te verkrijgen van het watersysteem. Door meer inzicht in het watersysteem kan de bewustwording van gebruikers en beheerders worden vergroot en maatregelen om het systeem te verbeteren passend worden uitgevoerd. Dit artikel gaat in op de vraag wat deze dynamische wijze van monitoren toevoegt aan de geprotocolleerde wijze van meten en beoordelen. Kunnen onderwaterdrones ook worden ingezet in het stedelijk gebied? Welke technische ontwikkelingen zijn momenteel gaande en hoe kunnen onderwijs en onderzoek inspelen op deze ontwikkelingen?

Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van onderwaterdrones door Hogeschool Van Hall Larenstein (VHL) en Indymo leverde een overzicht op van een aantal ideale eigenschappen en kenmerken van de drones die passen bij de diverse activiteiten en problemen van waterprofessionals. Tijdens dit onderzoek zijn verschillende soorten onderwaterdrones ingezet in diverse watertypes. De drones werden niet alleen ingezet voor waterkwaliteitsmetingen, maar ook voor het uitvoeren van inspectiewerkzaamheden. Hierdoor kunnen de eigenschappen van de drones in de verschillende watertypes worden vergeleken en is er een overzicht geformuleerd met wenselijke eigenschappen voor de drone bij verschillende toepassingen, zoals waterkwaliteitsmetingen en inspectie.

Toegevoegde waarde bij statische monitoring

De waterkwaliteit wordt in Nederland doorgaans bepaald aan de hand van watermonsters en het uitvoeren van statische monitoring op puntlocaties in het oppervlaktewater. In opdracht van wetterskip Fryslân is onderzoek gedaan naar de toegevoegde waarde van onderwaterdrones ten opzichte van deze wijze van meten [1]. De met statische monitoring uitgevoerde metingen en analyses geven de waterkwaliteit weer op exacte locaties. Omdat een watersysteem echter continu in beweging is, is er sprake van ruimtelijke, biologische en chemische variatie. Hierdoor geven de meet- en analyseresultaten geen goed beeld van het watersysteem als geheel. Deze variatie heeft gevolgen voor het wel of niet behalen van waterkwaliteitsnormen voor het betreffende watersysteem. Maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren kunnen hierdoor niet het gewenste effect hebben.

Door het gebruik van onderwaterdrones vindt dynamische monitoring plaats in het gehele watersysteem. Metingen worden uitgevoerd op verschillende locaties en dieptes zodat er een 3D-beeld ontstaat. Dit geeft de waterkwaliteit van het systeem beter weer. De gemeten waarden en locaties worden aan elkaar gekoppeld, waardoor een duidelijk en coherent beeld ontstaat van de gemeten parameters. Met behulp hiervan wordt in een overzicht aangegeven welke parameters op welke locaties al dan niet voldoen aan de normen. Hierdoor kan bijvoorbeeld de relatie tussen drijfslagen van algen in relatie tot de wind en aanwezige nutriënten worden onderzocht. De maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren kunnen door deze inzichten efficiënter worden uitgevoerd, waardoor mogelijk kosten worden bespaard en het watersysteem optimaal wordt verbeterd.

Naast het gebruik van sensoren op de drone voor waterkwaliteitsmetingen, is het gebruik van een camera een belangrijk aspect. De camera geeft een beeld van locaties in het watersysteem die anders niet of slecht bereikbaar zijn. De camerabeelden kunnen voor diverse doeleinden worden gebruikt, zoals ecologisch onderzoek en inspecties. Door de onderwaterdrone systematisch vlak boven de waterbodem te laten varen brengt deze de bodemvegetatie in kaart. Deze opnames kunnen in combinatie met verschillende metingen inzicht verschaffen in de bodemvegetatie in relatie met nutriënten. Met behulp van de camera worden ook inspecties uitgevoerd op locaties die lastig te bereiken zijn voor een duiker, zoals bijvoorbeeld sluizen en gemalen. Camerabeelden zijn *real-time* te bekijken, waardoor er in het veld direct kan worden gereageerd op bijzonderheden. Op basis van de beelden kunnen onderhoudsplannen worden opgesteld en reparaties effectief en efficiënt worden uitgevoerd zonder inzet van een duiker.

Naast het verzamelen van meetgegevens en beeldmateriaal heeft de onderwaterdrone nog een belangrijke toevoeging voor de waterkwaliteit. Met behulp van beeldmateriaal en kaarten kan de kwaliteit van het water goed worden gepresenteerd aan een breder publiek. Kaarten kunnen duidelijk weergeven wat de waarden zijn van verschillende parameters op verschillende locaties. Vaak is een kaart ook duidelijker dan een reeks getallen. Beeldmateriaal, zoals korte filmpjes en kennisclips van het watersysteem, vormt daarnaast een goede visuele aanvulling op de kaarten. Deze worden gebruikt voor verschillende educatieve en informatieve doeleinden, om mensen te enthousiasmeren of informeren over de huidige waterkwaliteit en de oorzaken en gevolgen daarvan.

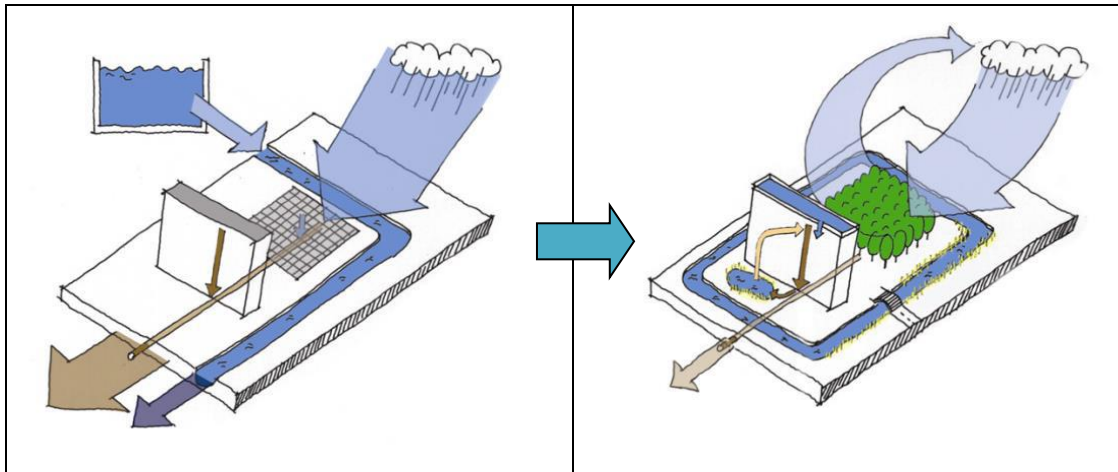
Mogelijkheden ROV's in de bestaande gebouwde omgeving

Wat kunnen we leren van duurzame waterwijken die al meer dan 15 jaar gebruikt en beheerd worden, terwijl het klimaat in meerdere opzichten is veranderd? Is het gebruik van een onderwaterdrone daarbij bruikbaar?

Duurzame ontwikkeling is een veranderproces. Het sleutelen aan de verduurzaming van watersystemen is daar een goed voorbeeld van. Veranderprocessen zijn, afhankelijk van de context, complex, dynamisch en onzeker. Het gebruik van het juiste gereedschap op het juist moment is daarbij essentieel. Niet alleen voor het (her)ontwerp en de inrichting van een duurzaam watersysteem, ook het monitoren van het gebruik en het beheer van een dergelijk systeem vraagt om bruikbaar gereedschap. Het is immers van belang dat we leren van de effecten van dergelijke veranderprocessen.

In Nederland hebben we sinds begin jaren negentig een traditie om te experimenteren met Duurzaam Bouwen op woningbouw- en op stedelijk schaalniveau. Eerst met kleinschalige nieuwbouwwijkjes

zoals Morrapark in Drachten, Ecodus in Delft en Ecolonia in Alphen aan den Rijn. Later in grootschalige nieuwbouwprojecten zoals Nieuwland in Amersfoort en Leidsche Rijn in Utrecht. Vervolgens wordt een verschuiving waargenomen om de verduurzaming van watersystemen te integreren in planprocessen die zijn gericht op de stedelijke vernieuwing van jaren zestig-woonwijken zoals Schalkwijk in Haarlem en de Poptahof in Delft. Daarbij gaat het om dezelfde principes als bij het ontwerp van een duurzaam watersysteem in een nieuwbouwwijk, namelijk een transformatie die is gericht op het zoveel mogelijk vasthouden en schoonhouden van gebiedseigen water. Van een doorspoelsysteem naar een circulatiesysteem (zie afbeelding 1).



Afbeelding 1. Transformatie van een doorspoelsysteem naar een circulatiesysteem [2].

De afgelopen 25 jaar is steeds duidelijker geworden wat de impact is van klimaatverandering. In de Nederlandse steden wordt de netto contante schade door klimaatverandering in 2050 cumulatief geschat op 44 miljard euro [3]. Nieuwe oplossingsrichtingen die doorwerking van het waterbeleid in de 21ste eeuw versterken, zijn volgens het Deltaprogramma – naast veiligheid – gericht op de Ruimtelijke Adaptatie omdat er op dit moment onvoldoende samenhang is tussen ruimte en waterkwantiteit en -kwaliteit. De vernieuwing van bestaand stedelijk gebied is dé Nederlandse bouwopgave geworden [4]. In 2050 moet de gebouwde omgeving in Nederland klimaatbestendig zijn. De kennisvraag is welke *best practices* er zijn in de stedelijke vernieuwing door water vast te houden en schoon te houden via participatie van gebruikers en beheerders. Hoe functioneren deze watersystemen? In verschillende situaties is regenwater afgekoppeld, is verharding vervangen door groen, is het areaal open water vergroot en zijn natuurlijke oevers ingericht. Bovendien wordt het watersysteem in deze voorbeeldwijken gebruikt en beheerd door de mensen die er wonen. Voor de combinatie van het monitoren van het watersysteem voor, door en met bijvoorbeeld bewoners(groepen) is het gebruik van onderwaterdrones uiterst geschikt. Bijvoorbeeld door een school in een naoorlogse wijk een in de buurt gelegen watergang te laten adopteren en door kinderen met onderwaterdrones de data van het watersysteem te verzamelen. De drones geven snel een indicatie – visueel en fysisch/chemisch – van het functioneren van het watersysteem. Via participatieve monitoring (*citizen science*) zijn ze bovendien tevens een bruikbaar middel om het waterbewustzijn onder kinderen en leerkrachten te vergroten (*capacity building*).

Technische Innovaties

De bruikbaarheid en de verscheidenheid aan toepassingsmogelijkheden van onderwaterdrones zijn groot. Dit heeft ook invloed op de technologische ontwikkeling en het design van de drones zelf. Met veldwerk zijn waardevolle inzichten verkregen over praktische uitdagingen die zich voordeden tijdens het gebruik van onderwaterdrones voor milieukundige monitoring en andere toepassingen. Voorbeelden zijn flexibiliteit om de setup aan te passen aan andere omstandigheden en eisen, zoals de installatie en uitwisselbaarheid van data tussen verschillende sensoren en apparatuur. Maar ook bescherming van de propellers tegen vegetatie, goede manoeuvreerbaarheid om gegevens te verzamelen (systematisch afvaren van een route op een constante snelheid), eenvoudige reparaties, transport, behoefte aan accurate positionering en waterbestendige apparatuur zijn nog uitdagingen. Een succesvol ontwerp van een onderwaterdrone moet voldoen aan een aantal voorwaarden. Niet alleen is een duidelijke omschrijving van de functie waarvoor deze is ontworpen van belang (bijvoorbeeld waterkwaliteitsmonitoring, watermonsters, visuele inspecties). Maar ook de fysieke structuur, (meestal kubus- of cilindervormig), het drijfmechanisme (bijvoorbeeld met drijvers of geautomatiseerde ballasttanks), energieverbruik, voorstuwingsmethode (verticale/horizontale propellers). Tot slot zijn vaardigheden noodzakelijk voor de sturing, controle en digitale communicatie van de drone en de verschillende sensoren.



Afbeelding 2. Open ROV, Hogeschool Van Hall Larenstein (2016)

Een van de belangrijkste succesfactoren voor het efficiënt gebruik van aquatische dronetechnologie, is de juiste registratie van de positie onder water. Dit is cruciaal voor de navigatie en voor data-analyse van gegevens in de meeste toepassingen (bijvoorbeeld GIS). Het gebruik van GPS-apparatuur is beperkt voor gebruik onder water. Onder water treedt er verlies van het satelliet signaal op. De diepte van het water kan worden gemeten met waterdruksensoren die eenvoudig worden geïnstalleerd op de drone. Een praktische oplossing voor het volgen van de drone onder water is door gebruik te maken van een drijvend platform dat aangesloten is op de onderwaterdrone door middel van een intrekbare

kabel. Andere mogelijke (en duurdere) opties zijn de ontwikkeling van een akoestisch positioneringssysteem en het gebruik van een versnellingsmeter en kompas waarmee de positie van de drone op basis van oriëntatie en versnellingen kan worden berekend [5].

Communicatie onder water is moeilijk en alleen datatransfers op een lage breedte zijn momenteel mogelijk, wat de beschikbare opties beperkt. De meeste systemen vereisen een kabelverbinding (tether) om gegevens en instructies van en naar de drone te versturen. Een oplossing kan zijn om wanneer de drone zich dicht bij het oppervlak bevindt, alleen een draadloze verbinding te gebruiken. Dit heeft ook gevolgen voor het beperken van draadloze en *real-time* gegevenstoegang. Zo kan een actievere, dynamische benadering van de waterkwaliteit plaatsvinden, bijvoorbeeld het volgen van verontreinigingsbronnen tijdens de metingen.

Het doorzicht onder water is belangrijk om de navigatie en werking van de onderwaterdrone te bevorderen. Wanneer de drone is voorzien van een kabelverbinding is het mogelijk om *real-time* mee te kijken. Het zicht met de camera is sterk afhankelijk van de helderheid van het water. Om de zichtbaarheid onder water te verbeteren, kunnen bijvoorbeeld akoestische camera's worden gebruikt die onderwaterobjecten herkennen op basis van weerkaatsing van geluidsgolven. Dit type sonarsysteem kan ook worden gebruikt om de afstand tussen de drone en de waterbodem te meten. Deze afstand en de dieptemetingen van de sensor kunnen samen de totale diepte van het water bepalen. Deze informatie komt ook van pas voor verschillende waterbeheertoepassingen [6].

Ten slotte is de mogelijkheid om watermonsters te verzamelen op verschillende locaties, op afstand geactiveerd, van groot belang voor waterkwaliteitsvalidatie in het laboratorium. Daarnaast zorgen de watermonsters ook voor aanvullende informatie over het watersysteem, zoals gedetailleerde chemische informatie. Het verzamelen van waterbodemmonsters is een belangrijke toevoeging, maar lijkt moeilijker te realiseren.

Hoewel er wel – vaak kostbare - oplossingen zijn voor de genoemde uitdagingen (die al gebruikt worden in de gas- en olie-industrie), vinden er steeds meer ontwikkelingen plaats om de toepasbaarheid en daarmee de bruikbaarheid te vergroten voor onderwijs en onderzoek in het waterbeheer.

Onderwijs en onderzoek: meer dan een natte drone

Kennisinstellingen zoals Van Hall Larenstein werken vanuit het onderwijs- en onderzoeksprogramma steeds vaker vraaggericht aan opgaven vanuit de regionale samenleving. Daarbij wordt ook co-productief en co-creatief samengewerkt met overheden en ondernemers. Het verband tussen deze vier partijen wordt de *quadruple helix* genoemd [7]. Met name de expliciete verbinding met de samenleving is daarbij essentieel.

Op dit moment doet VHL vanuit het lectoraat Sustainable Water Systems onderzoek naar het functioneren van het duurzame watersysteem van de woonwijk Morrapark in Drachten. Studenten van de opleidingen Milieukunde en Land- en Watermanagement maken daarbij gebruik van de mogelijkheden die de onderwaterdrone biedt. Dit onderzoek wordt mogelijk gemaakt door het innovatieprogramma van Wetterskip Fryslân. Op de Watercampus in Leeuwarden heeft zich inmiddels een MKB met drones (Indymo) gevestigd, waarmee een bijdrage wordt geleverd aan de valorisatie van het onderzoek aan VHL.

Met de onderwaterdrones wordt via een *quick scan* een indruk verkregen van de ecologische toestand van het watersysteem. Deze ecologische toestand is in de Kaderrichtlijn Water (KRW) opgebouwd uit

de met elkaar samenhangende biologische kwaliteit (biodiversiteit), fysisch-chemische kwaliteit en hydromorfologie. Met name de biologische kwaliteit is een punt van zorg in het Nederlands waterbeheer. Zo voldoet slechts 3 procent van de regionale oppervlaktewateren aan de biologische kwaliteit [8]. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) geeft aan dat naast brongerichte maatregelen ook gebiedsgerichte maatregelen van belang zijn. Hiervoor is een integratie van verschillende beleidsterreinen noodzakelijk. Daarbij doet het PBL een oproep 'van polderen naar participeren'. Via participatieve monitoring worden onderwaterdrones ingezet door verschillende doelgroepen. Bijvoorbeeld in de agrarische sector maar ook door gebruikers van een stadsvijver. In het onderwijs kunnen de drones via toegepast onderzoek een overzicht geven van de ecologische kwaliteit van bijvoorbeeld de gradiënten in een beekstelsel, van bron tot monding. Ook zijn ze inzetbaar bij inspecties van kunstwerken of van sedimentatieprocessen in nevengeulen of bij een visualisatie van snoekenbroed voor het maaien. Eendachtig de oproep van het PBL worden studenten niet alleen maar met een onderwaterdrone op pad gestuurd om de milieukwaliteit in kaart te brengen. Ook de ruimtelijke kwaliteit (gebiedsinrichting) en de sociale kwaliteit (woontevredenheid, beheer en gebruik) moeten worden onderzocht, zoals bijvoorbeeld in Morrapark in Drachten. Hierdoor leren studenten niet alleen van elkaar maar ook van de professionals in de praktijk. Deze vorm van interdisciplinair leren is sterk afhankelijk van de praktijksituatie, maar ook van het vermogen van onderzoekers, docenten, studenten en professionals om over de eigen grenzen heen te leren. Dit vermogen om praktijkgericht en interdisciplinair te *leren door te doen* wordt *Boundary Crossing* genoemd (zie voor achterliggende leermechanismen o.a. [9]).

In 2017 starten het hbo-onderwijs (VHL), het mbo-onderwijs (Nordwin College) en het Center of Expertise Water Technology (CEW) op de Watercampus in Leeuwarden met het opleiden van studenten tot onderwaterdronepiloot. Het Centrum Innovatief Vakmanschap (CIV) heeft de opdracht gekregen deze module te ontwikkelen. Hiermee wordt aansluiting gezocht met een generatie studenten die via het gamen een goede oog-handcoördinatie hebben. Tegelijkertijd wordt de doorstroming bevorderd van het mbo naar het hbo. Op mbo-niveau worden verschillende typen drones en watertypen geïntroduceerd, evenals de besturing en het onderhoud van de drones. In het hbo-onderwijs wordt het ontwerp van een integraal meetplan toegevoegd, evenals de analyse en interpretatie van de verkregen data. Deze leerdoelen zijn omschreven in het brevet tot onderwaterdronepiloot.



Afbeelding 3. Lisette van der Berg tijdens uitvoering van waterkwaliteitsmetingen, Hogeschool Van Hall Larenstein (2016)

Tot slot

In veel onderzoeken is de meerwaarde van een onderwaterdrone al gebleken. Niet alleen voor de maandelijkse monitoring van waterkwaliteit is de drone een belangrijke toevoeging. Ook in relatie met de omgeving, klimaat en burgerparticipatie zijn er veel mogelijkheden. In de toekomst zal de onderwaterdrone naar verwachting verder integreren in onderzoek en onderwijs. Dit betekent dat er meer praktijkkennis en inzicht beschikbaar komt, bijvoorbeeld over het functioneren van een duurzaam watersysteem in een klimaat dat steeds verandert.

Referenties

1. Berg, L van der (2016). *Onderwaterdrones: Meerwaarde bij de beoordeling van waterkwaliteit*, Hogeschool Van Hall Larenstein, Leeuwarden
2. TU Delft DIOC
3. Deltaprogramma | Nieuwbouw en Herstructurering (2014). *Synthesedocument Ruimtelijke Adaptatie*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
4. WRR, Wetenschappelijk Raad voor het Regeringsbeleid (2013). *Naar een lerende economie*. Amsterdam University Press, Amsterdam
5. Boogaard, F., Graaf, R. de, Dionisio Pires, M., Lima, R. (2016) Weinig invloed op ecosystem onder drijvende objecten, *Land en Water*, nr. 10 - oktober 2016, pg. 27-29
6. Lima, R.L.P. 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, *Conference Proceedings: Amsterdam International Water Week*. Amsterdam 2015. 5 pp.

7. Eijk, P.J. van (2015). *De (a)quadruple helix. Over de duurzame ontwikkeling van watersystemen*. Hogeschool Van Hall Larenstein, Leeuwarden.
8. Gaalen, F. van et al. (2015), *Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
9. Gulikers, J., Oonk, C. (2016). Het waarden van leren met partijen buiten de school. In: *Onderwijsinnovatie*, nummer 3. Open Universiteit.