

Waterkwaliteitsbeheer - Remote sensing komt steeds meer binnen bereik

Meinte Blaas, Ellis Penning, Marieke Eleveld, Miguel Dionisio Pires, Anouk Blauw (Deltares)

Remote sensing heeft een imago van: technisch complex, voortdurend in ontwikkeling en gericht op de onderzoeksgemeenschap. Voor minder ingewijden lijken veel technieken niet makkelijk in te zetten als alternatief voor of aanvulling op het nemen van monsters. Er is echter een kentering gaande. Dankzij bijvoorbeeld Google Earth en Bing Maps zijn we gewend geraakt aan remote sensing uit satelliet en vliegtuig als direct bruikbare informatie. Ook drones maken nieuwe toepassingen mogelijk. Dat geldt ook voor waterbeheerders. Welk platform en welke technologie het beste kunnen worden ingezet, hangt af van de gewenste mate van detaillering in ruimte en tijd.

Watersystemen zijn vaak uitgestrekt en de toestand waarin ze verkeren varieert sterk per locatie en ook nog per tijdstip. Betrouwbaar en kosteneffectief monitoren is voor waterkwaliteitsbeheerders een hele uitdaging. Traditioneel wordt aan handmatige metingen in het veld veel waarde toegekend, vanwege de vaak grote precisie (detailniveau), maar de nauwkeurigheid van de verkregen informatie kan beperkt zijn door gebrekkige representativiteit van locaties en/of tijdstippen van meten.

Waterbeheerders hebben veel belangstelling voor *remote sensing*. Bijvoorbeeld vanuit het oogpunt van kostenbesparingen die (semi-)autonome meetopstellingen kunnen opleveren. Daarnaast is er behoefte aan meer en beter in de ruimte en de tijd gespreide data om het risico van toevallig afwijkende waarnemingen (*sampling biases*) terug te dringen. Een ander argument is dat juist de combinatie van verschillende bronnen van monitoringsdata meer inzicht biedt in het functioneren van het gehele watersysteem. Bovendien groeit de behoefte om op handige manieren in de ruimte en tijd uitgestrekte datasets aan elkaar te kunnen relateren en te visualiseren.

De uitdaging is de juiste keuze te maken in deze combinaties en deze technieken op een goede manier op te nemen in bestaande monitoringprogramma's.

Remote? Sensing?

Bij remote sensing wordt vaak aan satellieten gedacht, maar een meetplatform kan een persoon zijn, een meetmast of een opstelling op een schip, een drone, een vliegtuig of inderdaad, een satelliet. Om te bepalen welke vorm van remote sensing voor een vraagstuk toepasbaar is, is het zinvol om de sensortechniek los te zien van het meetplatform. Eerst de techniek.

Optische remote sensing benut het zonlicht en registreert de (schijnbare) kleur en de troebelheid van het water. Daarnaast kunnen de bedekking door kroos of waterplanten en andere kenmerken gedetecteerd worden die verwijzen naar waterkwaliteit en ecologie, zoals schuim of drijfslagen. Hierbij kan ook de invloed van vegetatie, dieren of menselijke activiteit op of nabij het water waargenomen worden. Omdat remote sensing het water van bovenaf bemonstert, zijn alleen de kenmerken van het bovenste deel van de waterkolom vast te stellen. Naarmate het water helderder

is, is het waarneembare deel groter. In relatief heldere of juist ondiepe wateren kan ook de bodem worden waargenomen.

Met behulp van algoritmes kunnen gebiedsdekkende kaarten gemaakt worden van optische waterkwaliteitsparameters. De meest gangbare grootheden zijn:

- Chlorofyl(a)-concentratie
- Concentratie totaal zwevend stof (*total suspended matter*, TSM)
- CDOM-absorptie (humuszuren)
- Kd-extinctie-coëfficiënt over PAR of als functie van golflengte.

Daarnaast is het in sommige gevallen mogelijk om informatie te verkrijgen over:

- Secchi-diepte of eufotische diepte
- Fytoplanktontypes (PFT) of doelsoorten zoals blauwalgen
- Primaire productie
- Waterplanten

Het aanbod van technologie

Digitale fotocamera's detecteren het zichtbare licht in een beperkt aantal (meestal rode, groene en blauwe) delen van het golflengtegebied en combineren dit tot een enkele kleurenfoto, opgebouwd uit pixels.

Voor milieumonitoring zijn spectrometers gangbaar: deze sensoren detecteren het licht in specifieke banden van het golflengtegebied, van ultraviolet tot infrarood. Multispectrale spectrometers maken gebruik van enkele tot tientallen banden rond specifieke golflengten, terwijl hyperspectrale sensoren nauwere banden gebruiken in een aaneengesloten deel van het spectrum.

Uit het waargenomen reflectantie-spectrum (de waargenomen kleur van het water, gegeven het spectrum van het invallende licht) kunnen verschillende milieugrootheden gedestilleerd worden. Het invallende licht van de zon wordt in water verstrooid door slib en algen, en in bepaalde golflengtes geabsorbeerd door opgelost materiaal en algenpigmenten. Het terugvertalen van de samenstelling van het water en de daarin aanwezige stoffen op basis van de spectrale data wordt *retrieval* genoemd: inverse modellering gebaseerd op kennis van de absorptie- en verstrooiingseigenschappen van het water en de daarin aanwezige stoffen. Aangezien de absorptie- en verstrooiingseigenschappen van de planktonsoorten, zwevend-stof-deeltjes en humuszuren per watersysteem kunnen variëren, is ijking aan lokale condities vaak wenselijk.

Dit betekent dat remote sensing van optische waterkwaliteit nooit geheel zonder *in situ* metingen kan voor ijking en validatie. Het juiste bemonsteringsschema voor de ijkmetingen hangt af van de mate waarin de bio-optische kenmerken variëren in een systeem, maar in de regel zijn ijkmetingen minder frequent nodig dan normale waterkwaliteitsmetingen in reguliere monitoringsprogramma's.

Platforms

De keuze voor het meetplatform bepaalt grotendeels de resolutie en de uitgestrektheid waarmee gemeten kan worden. Voor een groot aantal sensoren geldt dat ze met hetzelfde werkingsprincipe

kunnen worden toegepast op verschillende platforms. Hierdoor kunnen vergelijkbare kenmerken op verschillende schaalniveaus gemeten worden.

Handmatige metingen door een persoon vanaf een schip of steiger met behulp van specifiek ontworpen hardware, gekoppeld aan een smartphone, kunnen – mits goed georganiseerd – aanzienlijke dekking opleveren. Dergelijke participatieve monitoring is wellicht minder precies, maar kan wel informatief zijn dankzij een groter aantal meetwaarden.

Drone of vliegtuig biedt een meer autonome inwinning van data, hoewel deze platforms ook nog personele inzet vereisen. Toepassingen op een meetmast of satelliet zijn vaak volledig autonoom: de data worden met vastgestelde frequentie ingewonnen voor een vastgesteld gebied. Deze data worden naar een dataserver gestuurd en daarna verder verwerkt.

Aardobservatiesatellieten zijn er ruwweg in twee soorten: in een relatief lage baan om de aarde (circa 700 tot 800 kilometer hoog) óf in een hoge geostationaire baan (circa 36.000 kilometer hoog). In een lage baan bewegen de satellieten in noord-zuidrichting (of andersom) en bemonsteren zo regelmatig dezelfde locatie op de grond. De terugkeurfrequentie van metingen hangt af van de satellietbaan en de breedte van het blikveld van de sensor. Geostationaire satellieten zien voortdurend hetzelfde gebied op aarde en kunnen dus data met een hoge tijdsresolutie leveren (bijvoorbeeld elke vijftien minuten), maar vanwege de grote hoogte wel met minder ruimtelijk detail.

Los van de baan bepaalt het meetprincipe de gemiddelde bemonsteringsresolutie in tijd en ruimte. Optische metingen hebben het licht van de zon nodig. Het zonlicht passeert tweemaal de atmosfeer (binnenvallend en gereflecteerd licht) en de sensorsignalen ondervinden daardoor hinder van gassen en aerosolen in de atmosfeer. De kwaliteit van het signaal varieert ook met de tijd van de dag en het seizoen (zonnehoek en daglengte). Er is in de praktijk een balans tussen de spectrale resolutie, gevoeligheid (signaal-ruisverhouding) en ruimtelijke resolutie die een sensor kan bieden.

De meest gangbare missies van satellieten in een lage baan zijn wat dit betreft een compromis; zij maken gebruik van multispectrale sensoren en hebben ruimtelijke resoluties van tien tot enkele honderden meters. Hyperspectrale sensoren zijn al gangbaar in remote sensing per drone of vliegtuig, en de sensortechnologie blijft zich ontwikkelen.

Onder andere Italië en Duitsland bereiden momenteel al hyperspectrale satellietmissies voor. Meer detail en betere differentiatie op specifieke kleurverschillen vanuit de ruimte zal het aanleveren van nieuwe specifieke producten mogelijk maken.

Dataverwerking en datadiensten

Het aanbod van remote sensingdata groeit sterk, onder andere door het Copernicus Programma van de Europese Unie. Dit programma omvat een uitgebreide aardobservatiecomponent waarin Sentinel-satellieten centraal staan. Een belangrijk doel is aardobservatie toepasbaar te maken voor gebruikers. Copernicus stimuleert de ontwikkeling van data- en informatiediensten waarmee ook niet-experts de schat aan gegevens kunnen benutten. Naast het via de EU en ESA gefaciliteerde aanbod, is er bijvoorbeeld ook aanbod van Amerikaanse satellieten. Ook zijn er commerciële missies, die zeer specifieke, vaak hoge-resolutieproducten leveren.



Afbeelding 1. Een van de eerste Sentinel 2A-opnames ('colour composite') van West-Nederland in augustus 2015. De kleurverschillen in de grote oppervlaktewateren worden voornamelijk veroorzaakt door verschillende concentraties algen, zwevend stof en opgelost organisch materiaal (humuszuren). Daarnaast kunnen absorptie en verstrooiing van het licht door de aanwezige stoffen variëren voor de verschillende watermassa's. Zo wordt het beeld van het Markermeer gedomineerd door de heersende slibconcentraties terwijl in het IJsselmeer relatief meer algen waarneembaar zijn. In de Noordzeekustzone is de invloed van de verspreiding van het rivierwater vanuit de Nieuwe Waterweg zichtbaar. Het relatief zoete water verspreidt zich geleidelijk noordwaarts in een golvend patroon langs de kust waarbij afwisselingen in kleur en troebelheid van het water ontstaan

Het afgelopen decennium is in Nederland door onder andere Rijkswaterstaat en het Havenbedrijf Rotterdam praktijkervaring opgedaan met de inzet van remote sensing voor het monitoren van de waterkwaliteit. Rijkswaterstaat heeft een aantal atlassen voor Markermeer, IJsselmeer en Noordzee laten samenstellen op basis van slib- en chlorofyldata van voorlopers van de huidige Sentinel-satellieten. De atlassen bieden naast patronen in ruimte en tijd ook grafieken van invloedsfactoren, zoals wind, zoninstraling en golven en berekeningen van de concentraties op basis van numerieke waterkwaliteitsmodellen.

Havenbedrijf Rotterdam heeft voor de periode 2003-2011 ten behoeve van de milieueffectmonitoring tijdens de aanleg van de Tweede Maasvlakte een aantal atlassen laten maken met composietbeelden van slib in de zuidelijke Noordzee. Ook hierbij zijn de satellietdata met andere data gecombineerd.

Door de slibkaarten van de satelliet te integreren met de modellering kon een reconstructie van de concentraties in de diepere waterlagen gemaakt worden (buiten beeld van de satelliet) en kon het vertroebelend effect van de aanleg van de Maasvlakte gescheiden worden van de natuurlijke achtergrondfluctuaties.

Waterbeheerders kunnen de specifieke toepasbaarheid van remote sensing voor eigen gebruik stimuleren door deze data daadwerkelijk op te pakken voor hun vraagstukken en de bruikbaarheid ervan te evalueren. Het aanbod is groot en de basiskwaliteit is het onderzoekstadium voorbij.

Door samen te werken met kennisinstellingen en bedrijven kunnen de kwaliteit en toepasbaarheid van de data nog verder verbeterd worden, bijvoorbeeld door de retrieval te *finetunen* of uit te breiden voor andere grootheden. Ook kan in dergelijke samenwerking extra waarde worden toegevoegd aan de data door ze te combineren met andere databronnen en modelberekeningen.

Remote Sensing maakt het mogelijk om op een hoger detailniveau of meer frequent inzicht te krijgen in het functioneren van het watersysteem. De benodigde mate van detail in ruimte en tijd is daarbij het uitgangspunt om tot een juiste keuze te komen.

Dit artikel is op 15 december 2016 gepubliceerd in Water Matters (het kennismagazine van maandblad H2O).

Tabel 1. Combinatie van platforms en sensoren voor het bepalen van waterkwaliteitskenmerken

	Rood-Groen-Blauw kleuren fotografie of video)	Multispectraal	Hyperspectraal	Karakteristieken
Satelliet	X	x	x	Grotere wateren ineens bemeten (meerdaagse tot maandelijkse tijdschaal)
Vliegtuig/helikopter	X	x	x	Subregio's ruimtelijk in beeld op één moment, ook voor slecht toegankelijke gebieden
Drone - vliegend	X	x	x	Lokale delen van het watersysteem met beperkte toegang (watergangen, oevers); te bemeten areaal per missie is beperkt; niet overal toegestaan
Professionele handbediende sensoren		x		Mogelijkheid voor precieze, kwaliteit-gecontroleerde metingen; alleen op toegankelijke locaties,
Telefoon, doe-het-zelf sensoren	Zwemwaterkwaliteit, zwerfvuil, water kleur, troebelheid, flora, fauna			Mogelijkheid voor meer samples op toegankelijke en voor de burger relevante locaties. Geschikt voor stakeholderparticipatie en projectmatige aanpak
Monitoringsmast	X	x	x	Hoge tijdsresolutie en lange reeksen, beperkte geografische dekking
Drone – varende	X	x	x	Grotere dekking, hogere resolutie ten opzichte van scheepsgebonden sampling; vergunningen vereist
Schip	X	x	x	Autonome opstelling op 'ships of opportunity' geeft veel bemonstering langs vaarroutes; uitrusting op meetschepen geschikt voor combinatie en validatie met andere in situ monsternames