



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Accessible remote sensing of water

Burggraaff, O.

Citation

Burggraaff, O. (2022, December 13). *Accessible remote sensing of water*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3497379>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3497379>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Nederlandstalige samenvatting

Water is overal om ons heen. We gebruiken het om te drinken, wassen, spelen, vissen, varen en nog veel meer. Natuurlijke wateren, zoals beken, rivieren, meren, zeeën en oceanen, zitten vol leven en interessante chemie. Omdat water zo belangrijk is, moeten we het intensief bestuderen en de verschillende verbindingen en levensvormen die erin voorkomen, meten. Zo kunnen we de wereld om ons heen, onze invloed daarop en de invloed daarvan op ons beter begrijpen.

Oceanen en binnenwateren bevatten veel verschillende *bestanddelen*. Hieronder vallen diverse chemische verbindingen, deeltjes, fytoplankton en vervuiling. Elk bestanddeel in een waterlichaam speelt een rol in de chemie en biologie ervan. Fytoplankton produceert bijvoorbeeld de helft van de organische koolstof en zuurstof in de wereld; beide stoffen zijn van vitaal belang voor alle andere levensvormen. Door de concentraties en eigenschappen van bestanddelen in een waterlichaam te bestuderen, kunnen we het ecosysteem daarvan begrijpen. Deze kennis heeft een inherente waarde en stelt ons ook in staat om in te grijpen tegen vervuiling, klimaatverandering en andere schadelijke gebeurtenissen.

Concentraties en eigenschappen van bestanddelen worden traditioneel gemeten door monsters te nemen en deze in een laboratorium te analyseren. Deze methode kent echter drie belangrijke uitdagingen. Ten eerste zijn er dure apparatuur en opgeleid personeel voor nodig, die niet overal of voor iedereen beschikbaar zijn. Ten tweede is het moeilijk om deze metingen op te schalen in tijd en ruimte. Het bestuderen van wereldwijde processen zoals klimaatverandering vereist een wereldwijde dekking, maar de middelen en het personeel die nodig zijn om elk waterlichaam regelmatig te bemonsteren, zijn niet beschikbaar. Het bestuderen van lokale processen vereist snelheid en lokale toegang, beide ook niet gemakkelijk beschikbaar. Ten derde zijn de bemonsterings- en analyseprotocollen van onderzoekers slechts in beperkte mate gestandaardiseerd. Dit veroorzaakt een grote onzekerheid in de resultaten en maakt het moeilijk om resultaten van verschillende groepen of locaties met elkaar te vergelijken.

Met *remote sensing* (letterlijk “meten op afstand”), waarbij door water gereflecteerd licht wordt gemeten, kan er wereldwijd met snelle reactietijden en hoge consistentie worden gemeten. Door verschillende golflengtes en polarisatiestaten te gebruiken, kunnen we de concentraties en eigenschappen van verschillende bestanddelen bepalen. Zo kan de fytoplanktonconcentratie bijvoorbeeld worden geschat door de reflectantie bij blauwe en groene golflengtes te vergelijken. Er bestaat een grote verscheidenheid aan instrumenten voor remote sensing, op satellieten, vliegtuigen, schepen en vaste platforms. Recentelijk zijn consumentencamera’s zoals die op drones en smartphones populair geworden voor goedkope remote sensing.

Citizen science (letterlijk “burgerwetenschap”) betreft mensen die geen beroepswetenschappers zijn bij het wetenschappelijke proces via het verrichten van metingen, interpreteren van resultaten en het bedenken van nieuw onderzoek. Door de toegankelijkheid van wateronderzoek te vergroten, biedt dit kansen om de kosten daarvan te verlagen en de schaalbaarheid te verbeteren. Burgers verstrekken veel gegevens en lokale kennis die, in samenwerking met professionele onderzoekers, kunnen leiden tot nieuwe mogelijkheden, gedeelde inzichten en lokale interpretatie op maat. Tegelijkertijd leren de *citizen scientists* meer over hun omgeving door zelf onderzoek te doen en worden zij als belanghebbenden sociaal en politiek mondiger.

Het doel van dit proefschrift is om de toegankelijkheid en onzekerheid van remote sens-

ing en citizen science te onderzoeken en te verbeteren, zodat deze technieken beter in staat zijn om de gewenste verbeteringen in kosten, schaal en reproduceerbaarheid van wateronderzoek op te leveren. *Toegankelijkheid* betekent hier de mate waarin mensen gegevens kunnen creëren, gebruiken en interpreteren, zonder beperkt te worden door fysieke mogelijkheden of financiële status. *Onzekerheid* verwijst naar de spreiding in gemeten waarden veroorzaakt door willekeurige effecten en naar fouten veroorzaakt door bekende of onbekende systematische effecten.

Hoofdstuk 2. Citizen science met kleurenblindheid: Een casestudy over de Forel-Ule-schaal.

Veel citizen-science-projecten zijn afhankelijk van kleurwaarneming, maar tot 1 op de 11 deelnemers is kleurenblind. We bootsen het effect na van verschillende vormen van kleurenblindheid op metingen met de Forel-Ule-schaal, die wordt gebruikt om met het oog de kleur van water te meten. We constateren dat kleurenblindheid het vermogen om onderscheid te maken tussen kleuren op de Forel-Ule-schaal vermindert. Dit vermindert de precisie en nauwkeurigheid van citizen-science-data en de motivatie van deelnemers. Deze problemen kunnen worden aangepakt door onzekerheidsschattingen op te nemen in formulieren voor data-invoer en door kleurenblindheid te bespreken in handleidingen. Deze conclusies en aanbevelingen gelden algemeen voor citizen science op basis van kleurmetingen, inclusief andere classificatie- en monitoringsactiviteiten. Het betrekken van kleurenblinde mensen vergroot zowel de sociale als de wetenschappelijke impact van citizen science.

Hoofdstuk 3. Gestandaardiseerde spectrale en radiometrische kalibratie van consumentencamera's.

Consumentencamera's, met name die op smartphones en UAV's, worden tegenwoordig veel gebruikt als wetenschappelijke instrumenten. De dataverwerkingsstromen van deze camera's zijn echter niet geoptimaliseerd voor kwantitatieve radiometrie en hun kalibratie is complexer dan die van wetenschappelijke camera's. Het ontbreken van een gestandaardiseerde kalibratiemethode beperkt de reproduceerbaarheid tussen apparaten en, in de steeds veranderende markt, uiteindelijk ook de levensduur van projecten die ze gebruiken. Wij presenteren een gestandaardiseerde methodologie en database (SPECTACLE) voor spectrale en radiometrische kalibraties van consumentencamera's. De methodologie wordt toegepast op zeven populaire camera's om hun prestaties te karakteriseren en onzekerheden te kwantificeren. Door middel van kalibratie en het gebruik van RAW-data leggen we de basis voor het gebruik van consumentencamera's voor professionele spectroradiometrie.

Hoofdstuk 4. Nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid van bovenwaterradiometrie met gekalibreerde smartphonecamera's met behulp van RAW-data.

In dit hoofdstuk passen we de resultaten en aanbevelingen uit Hoofdstuk 3 toe op bovenwaterradiometrie. We meten R_{rs} en waterkleur op en rond het Balatonmeer, Hongarije, met twee smartphones en twee hyperspectrale referentie-instrumenten ter validatie. We kwantificeren de onzekerheid, reproduceerbaarheid en nauwkeurigheid van de resulterende gegevens en vergelijken deze met professionele spectroradiometers en bestaande citizen-science-benaderingen. We constateren dat smartphonecamera's vergelijkbaar presteren met professionele instrumenten wat betreft onzekerheid, nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid. Op basis van deze resultaten bieden we praktische aanbevelingen voor het gebruik van consumentencamera's in professionele wetenschap en citizen science.

Hoofdstuk 5. Systematische fouten door onjuiste convolutie van reflectantie.

Reflectantiemetingen van verschillende instrumenten worden omgerekend en vergeleken door middel van spectrale convolutie. Dit wordt gedaan om tijdreeksen te combineren, instrumenten te valideren en *retrieval*-algoritmes toe te passen. Convolutie wordt echter vaak onjuist uitgevoerd, waarbij de reflectantie zelf wordt geconvolveerd in plaats van de onderliggende (ir)radianties. We kwantificeren de resulterende fout voor gesimuleerde en echte instrumenten en vinden systematische fouten tot 5%. Op basis van deze resultaten stellen we voor dat deze fout gedeeltelijk verantwoordelijk is voor de onzekerheden die in eerder werk zijn gevonden en raden we aan dat spectrale convolutie in toekomstig werk op de juiste manier wordt toegepast.

Hoofdstuk 6. Een universeel smartphone-opzetstuk voor draagbare spectroscopie en polarimetrie: iSPEX 2.

We presenteren een nieuwe spectropolarimeter voor smartphones, iSPEX 2. Dit is de opvolger van de oorspronkelijke iSPEX, een opzetstuk voor citizen-science-metingen van atmosferische aerosolen. Het optische ontwerp wordt gepresenteerd en het productieproces wordt gedetailleerd beschreven. Door universele smartphone-ondersteuning en een gegevensverwerkingslijn op basis van Hoofdstuk 3 willen we de toegankelijkheid en gegevenskwaliteit verbeteren ten opzichte van het origineel. Een eerste validatiemeting wordt gepresenteerd als proof of concept. Ten slotte stellen we mogelijke toepassingen van iSPEX 2 voor professionele en burgerwetenschap voor.

Hoofdstuk 7. Algemene discussie en toekomstperspectief.

In dit hoofdstuk synthetiseren we de algemene bevindingen van Hoofdstukken 2–6 en bespreken we ze met betrekking tot de huidige stand van zaken en de toekomstige richting van het vakgebied. Onderzoek in remote sensing van water is gericht op het verkrijgen van data met meer dimensies door meer golflengtes en polarisatie mee te nemen, op automatisering, en op een meer diepgaande analyse van onzekerheid en informatie-inhoud. Citizen science heeft de afgelopen twintig jaar een hoge vlucht genomen, maar er is nog veel werk aan de (wetenschaps)winkel. Verbeteringen op het gebied van gelijkwaardigheid, diversiteit en inclusiviteit zullen de sociale en wetenschappelijke impact van citizen science vergroten. Verder sociaal en technologisch onderzoek is nodig om deze verbeteringen te realiseren. Daarnaast bevat dit hoofdstuk de eerste bevindingen van een vervolgpriject over spectropolarimetrie van drijvend afval. We observeren verschillende soorten afval, voornamelijk plastic, in een golfbassin onder realistische omstandigheden. We zien een significant polarisatiesignaal voor verschillende soorten afval, wat suggereert dat polarisatie kan worden gebruikt om afval in de natuur te detecteren.

