

Remote sensing voor ondiepe binnenwateren

verkenning naar de mogelijkheden voor bathymetrie, waterkwaliteit en biodiversiteit



Remote sensing voor ondiepe binnenwateren

verkenning naar de mogelijkheden voor bathymetrie, waterkwaliteit en biodiversiteit

Auteur(s)

Miguel Dionisio Pires

Omslag: chlorofyl kaart IJsselmeergebied gemaakt uit Sentinel 2 beeld 17 augustus 2024

Remote sensing voor ondiepe binnenwateren

verkenning naar de mogelijkheden voor bathymetrie, waterkwaliteit en biodiversiteit

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	mevrouw M. de Lange
Referenties	
Trefwoorden	Aardobservaties, remote sensing, bathymetrie, waterkwaliteit, biodiversiteit

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	13-11-2024
Projectnummer	11210349-004
Document ID	11210349-004-ZWS-0001
Pagina's	24
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Miguel Dionisio Pires	

Samenvatting

Als beheerder van de grote binnenwateren in Nederland heeft Rijkswaterstaat ook de plicht om de natuur in die wateren te beschermen. Rijkswaterstaat voert daarom veel maatregelen hiervoor uit, o.a. in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW). In die programma's is ook aandacht voor de ondiepere zones omdat deze een belangrijke functie hebben in het gehele ecosysteem.

Monitoring van de meest ondiepe zone (0-1 meter) en wat daarin is aangelegd wordt momenteel niet uitgebreid uitgevoerd. Rijkswaterstaat heeft behoefte om goed en gedetailleerd in kaart te brengen wat de hoeveelheid ondiep water areaal is (i.e. een verfijning van de ecotopen classificatie daarin) en in wat voor toestand de kwaliteit en de biodiversiteit zich bevinden in die zone.

Eén van de monitoringstechnieken die wellicht daaraan zouden kunnen bijdragen is remote sensing, en dan vooral aardobservaties omdat met die data ruimtelijke inzichten gegenereerd kunnen worden en ze zijn vaak openbaar beschikbaar. Rijkswaterstaat heeft Deltares gevraagd om een verkenning uit te voeren naar de mogelijkheden hiervan waarbij de mate van detail, ook onder water een belangrijke rol speelt. De vraag van RWS is daarom:

Is het mogelijk om met remote sensing de ontwikkeling in de tijd van de ecotopen in de ondiepe zone van een watersysteem te volgen?

In aanvulling op bovenstaande vraag heeft Rijkswaterstaat Deltares verzocht om dan ook meteen mee te nemen wat de mogelijkheden zijn voor het gebruik van aardobservatie data voor waterkwaliteit en biodiversiteit. Als aanvullende vraag heeft RWS daarom:

Hoe goed kun je remote sensing inzetten voor het in kaart brengen van de waterkwaliteit en de biodiversiteit in de ondiepe zone?

Op bovenstaande vragen is antwoord gegeven door middel van het houden van een workshop met remote sensing experts van verschillende organisaties en medewerkers van Rijkswaterstaat. De vragen die in de workshop zijn behandeld zijn ook voorgelegd aan internationale experts voor extra input. Daarnaast zijn recente publicaties over de state-of-art van remote sensing, voor toepassing op bathymetrie, waterkwaliteit en biodiversiteit, geraadpleegd.

De belangrijkste resultaten en adviezen over de mogelijkheden van aardobservatie data ten behoeve van bathymetrie zijn:

- Aardobservatie gegevens (dus vanuit een satelliet) gebruiken om de bathymetrie in kaart te brengen tot het niveau van enkele centimeters in bodemhoogte (z) en x,y is niet mogelijk, maar met commerciële “very high resolution images” kan z in decimeters en x,y en in meters in kaart worden gebracht. Voor hogere resolutie is het gebruik van drones (of vliegtuigen) bemand met LiDAR is een beter alternatief.
- Vegetatie kan soms wel als proxy worden meegenomen. Bepaalde vegetatiesoorten, die boven het water uitsteken, stellen eisen aan de waterdiepte en zodoende kan men gegevens verzamelen over bepaalde dieptes. Vegetatie die boven water uitsteekt kan met Sentinel-2 geobserveerd worden, eventueel ook met commerciële satellieten die een fijnere/hogere ruimtelijke resolutie hebben.

- Het combineren van technieken, zoals bijvoorbeeld LiDAR met vegetatiekarteringen (zie twee punten hierboven) of waterlijnen ten opzichte van waterpeilen en/of met RTK en GNSS ingemeten punten (landmeetkundige metingen), kan leiden tot een verbetering van de bathymetrie ten opzichte van het gebruik van één enkele techniek.
- De nieuwe SWOT satelliet kan waterpeil in kaart brengen. SWOT is geschikt voor meren met een oppervlakte tot 1 km². De nauwkeurigheid van het waterpeil is ongeveer 10 cm (SWOT-101 presentatie, [link](#)). Data zijn openbaar en SWOT dekt de hele wereld. Een verkenning naar de toepasbaarheid in Nederlandse watersystemen is aan te bevelen.

De belangrijkste resultaten en adviezen over de mogelijkheden van aardobservatie data ten behoeve van waterkwaliteit en biodiversiteit zijn:

- Het meest voor de hand liggend is met Sentinel-2 te kijken naar (drijvende) waterplanten en dit te combineren met *in situ* data.
- Classificatie tools kunnen verder verkend worden om bijvoorbeeld na te gaan of ze uitgebreid kunnen worden met andere parameters zoals vegetatietypes.
- Luchtfoto's kunnen geanalyseerd worden om een onderscheid te maken in vegetatietypes, en diepte of mosselbanken voor zover de bodem zichtbaar is. Daarvoor is het nodig om een multispectrale, maar liefst een hyperspectrale camera te gebruiken, gemonteerd op een vliegtuig (of een drone, maar hyperpectraal met hoge resolutie betekent dat men moet nadenken over een slimme datareductie, want anders is de techniek niet geschikt om een heel gebied in kaart te brengen). Ook dient gelet te worden op beperkingen in vliegzones m.b.t. het vliegen van drones.
- Meer halen uit waterkleur onderscheidingen met Sentinel-2. In de workshop is o.a. gesproken over fytoplankton. Voor waterkwaliteit is het aan te bevelen om te zien of aardobservatie technieken van meerwaarde kunnen zijn in de KRW monitoring. Bewerkte beelden kunnen vertaald worden naar KRW kaarten, die vervolgens vergeleken kunnen worden met *in situ* data.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
2	Methodiek	8
3	Resultaten workshop	10
3.1	Bathymetrie	10
3.2	Biodiversiteit en waterkwaliteit	11
4	State of the art in de wetenschappelijke literatuur	12
4.1	Bathymetrie	12
4.2	Waterkwaliteit	13
4.3	Aquatische biodiversiteit	14
5	Advies	15
5.1	Bathymetrie	15
5.2	Biodiversiteit en waterkwaliteit	15
6	Referenties	16
A	Verslagen van de bijeenkomst op 7 juni 2024	17
B	Beantwoording vragen door internationale experts	21

1 Inleiding

Als beheerder van de grote binnenwateren in Nederland heeft Rijkswaterstaat ook de plicht om de natuur in die wateren te beschermen. Rijkswaterstaat voert daarom veel maatregelen hiervoor uit, o.a. in het kader van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW). In die programma's is ook aandacht voor de ondiepere zones omdat deze een belangrijke functie hebben in het gehele ecosysteem, zoals een paai- en opgroeiplek voor vissen, een schuilplek indien er waterplanten groeien en het is een zone waar veel primaire productie plaatsvindt (die dus bijdraagt aan de draagkracht voor het voedselweb, Heins et al. 2020).

Monitoring van de meest ondiepe zone (0-1 meter) en wat daarin is aangelegd wordt momenteel niet uitgebreid uitgevoerd. Rijkswaterstaat heeft behoefte om goed en gedetailleerd in kaart te brengen wat de hoeveelheid ondiep water areaal is (i.e. een verfijning van de ecotopen classificatie daarin), de kwaliteit ervan (zoals onderwater structuren en waterplanten) en de biodiversiteit in de zone (de Lange 2023). Ook zou het de ontwikkelingen in die zone willen volgen, liefst zo makkelijk mogelijk en/of automatisch. Dit zou dan bijdragen aan het inzicht of de maatregelen in het kader van de KRW en de PAGW, hun doel bereiken of niet.

Momenteel worden ecotopen door Rijkswaterstaat gekarteerd door middel van luchtfoto's in combinatie met beheerkaarten, WAQUA modellen en expert kennis binnen Rijkswaterstaat-CIV. De ecotopen-klassering voor de onderwater gebieden in het IJsselmeergebied is onder andere op basis van diepte ([link](#)). Rijkswaterstaat zou graag de ontwikkeling in de tijd van de ecotopen beter willen volgen, inclusief een gedetailleerdere indeling van de diepteklassen. Eén van de monitoringstechnieken die wellicht daaraan zouden kunnen bijdragen is remote sensing, en dan vooral aardobservaties omdat met die data ruimtelijke inzichten gegenereerd kunnen worden en ze zijn vaak openbaar beschikbaar. De vraag van RWS is daarom:

Is het mogelijk om met remote sensing de ontwikkeling in de tijd van de ecotopen in de ondiepe zone van een watersysteem te volgen?

In aanvulling op bovenstaande vraag heeft Rijkswaterstaat Deltares verzocht om dan ook meteen mee te nemen wat de mogelijkheden zijn voor het gebruik van aardobservatie data voor waterkwaliteit en biodiversiteit. Als aanvullende vraag heeft RWS daarom:

Hoe goed kun je remote sensing inzetten voor het in kaart brengen van de waterkwaliteit en de biodiversiteit in de ondiepe zone?

Dit onderzoek is gefinancierd vanuit het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat vanuit het onderzoeksbudget Innovatieve Monitoring.

2 Methodiek

Om op bovenstaande vragen en behoeftes advies te kunnen geven is een bijeenkomst georganiseerd met verschillende remote sensing experts uit Nederland en zijn er vragen opgestuurd naar experts in het buitenland. Tevens zijn recente publicaties over de state-of-the-art in dit rapport verwerkt.

Zoals genoemd in de Inleiding bestaan de activiteiten uit een workshop en een korte literatuurstudie.

Workshop

De workshop vond plaats op 7 juni 2024 met vertegenwoordigers van de volgende organisaties:

- Rijkswaterstaat-WVL
- Rijkswaterstaat-CIV
- Rijkswaterstaat-CD
- Rijkswaterstaat-PPO
- Rijkswaterstaat-ZD
- 52Impact
- Water Insight
- Vrije Universiteit
- Universiteit Twente
- NSO
- Deltares

Tijdens de expertmeeting zijn de volgende vragen in de discussies aan bod gekomen:

Bathymetrie:

- Kun je met remote sensing de kwantiteit van het areaal ondiep water in kaart brengen?
- Hoe ga je in rivieren om met fluctuerende waterpeilen?
- Is een verdiepingsslag in de diepteklassen van de ecotopen onder water mogelijk?

Waterkwaliteit en biodiversiteit:

- Kun je remote sensing inzetten om de kwaliteit van het onderwater areaal (zoals onderwater structuren en waterplanten) in de ondiepe zone te kwantificeren?
- Hoe kun je remote sensing inzetten om een beter inzicht in biodiversiteit te krijgen?

Algemeen (advies richting Rijkswaterstaat):

- Hoe precies kan er gemeten worden (ruimtelijk)?
- Wat kan er onder water gemeten worden?

Bovenstaande vragen zijn daarnaast naar drie buitenlandse experts van de volgende organisaties gestuurd: Plymouth Marine Laboratory (PML) in de VK, het Finse milieu instituut SYKE en de Universiteit in Californië. Vanuit laatstgenoemde kwam geen reactie, maar de reacties van PML en SYKE zijn ondergebracht in Bijlage B.

Literatuur

Als tweede activiteit is een korte literatuurstudie gedaan naar wat de huidige kennis is over aardobservatie data en de toepassing voor bathymetrie, waterkwaliteit en biodiversiteit. Het ging hier niet om een systematische literatuurstudie, maar er is simpelweg in Google Scholar is voor de jaren vanaf 2020 opgezocht hoe aardobservatie gegevens kunnen worden ingezet voor de drie toepassingen. Daarvoor zijn de op dat moment state-of-the-art review artikelen opgezocht.

3 Resultaten workshop

Hieronder wordt kort een opsomming gegeven van de belangrijkste conclusies uit de expert meeting van 7 juni 2024. Waterkwaliteit en biodiversiteit zijn daarbij samengevoegd.

3.1 Bathymetrie

Tijdens de expertworkshop “Remote sensing en ondiep binnenwater” werden vele afzonderlijke mogelijkheden voor inschatting van bathymetrie geïdentificeerd. Hieronder worden ze in samenhang en context benoemd.

Bathymetrie kan worden berekend op basis van bijvoorbeeld een gradiënt in kleur (wellicht ondersteund door informatie over opwoeling), ruwheid van het water (bijv. als de golven de bodem voelen), tijd (is afstand) tussen verzenden en ontvangen van een signaal, en op basis van waterlijnen plus waterniveau en/of t.o.v. bekende hoogte van het land worden ingeschat. Andere indicatoren voor dieptezones kunnen bijv. standplaatsen van vegetatie zijn. Vanuit de discussies geven we ook mee dat slimme combinaties van metingen en indicatoren wellicht het beste in beeld kunnen brengen waar Rijkswaterstaat naar zoekt, want de ambitie om hoogte en positie (x,y) op centimeter tot decimeter schaal te meten in ondiepe (in tijd variabele) troebele of humeuze binnenwateren te meten brengt voor satelliet remote sensing grote uitdagingen met zich mee. Voor zeer ondiep water zijn stereoluchtfoto's een optie omdat deze een zeer fijne/hoge ruimtelijke resolutie hebben (1 pixel beslaat bijvoorbeeld 10 cm grondoppervlak).

Voor onze eigen ogen en andere optische sensoren is zicht in zoetwatersystemen is beperkt door de complexiteit van het water type, schaduw en overhangende vegetatie. Complexiteit hangt samen met het aantal optisch actieve stoffen in het water. Denk hierbij aan fytoplankton en slibdeeltjes (die absorberen en verstrooien en daarmee de troebelheid van het water verhogen) en gekleurde opgeloste humuszuren (die voornamelijk het uv en blauwe licht absorberen en daarmee het water geel tot bruin kleuren).

De ondergrond moet bovendien niet te donker zijn want dan vindt er geen weerkaatsing van het licht plaats. SYKE geeft aan dat waterbodems vaak geen uniforme weerkaatsing geven en dat haalt het onderliggende idee donkerder is dieper, onderuit.

Als het waterniveau over een groot oppervlak fluctueert, kan de tussengelegen bathymetrie via waterlijndetectie worden afgeleid. Uit meerdere beelden land-water grenzen detecteren moet mogelijk zijn, optisch of met SAR (radar) beelden mits er geen overhangende bomen of struiken aanwezig zijn.

Bovendien zouden bepaalde indicatieve eco-elementen, zoals riet, wel gemonitord kunnen worden om de diepte klassenindeling te verfijnen, zie bijv. de Carto-tool van SPEER-AI. Het identificeren van land-water grenzen kan ook dienen als een proxy voor waterpeilen, of gelinkt worden aan gemeten waterpeilen. In <https://ggos.org/item/satellite-altimetry/#learn-this> wordt aangegeven dat Radar and LiDAR (satelliet altimetrie, zie ook paragraaf 4.1) gebruikt zijn voor waterpeilen in rivieren en meren. De diepte in kaart brengen zou dan mogelijk zijn met behulp van een groene laser (532 nm, zie ook paragraaf 4.1). Voor het meten van variatie in peil is het interessant om SWOT te verkennen (<https://swot.jpl.nasa.gov/>).

3.2 Biodiversiteit en waterkwaliteit

Uit de expertmeeting kwam naar voren dat ook voor gedetailleerde patronen het inschatten van vegetatie-oppervlaktes al kan. Het moet ook mogelijk zijn om een aantal groepen daarin te onderscheiden mits dit wordt getracht in combinatie met *in situ* data. In het KIMA 1.0 programma heeft Witteveen + Bos een soortgelijke activiteit uitgevoerd voor terrestrische vegetatie op de Marker Wadden (Klein Schaarsberg & Ivushkin 2021). Men was in staat om gebieden met riet, moerasandijvie, lisdodde en rode ganzenvoet van elkaar te onderscheiden (naast bosontwikkeling en de klasse “geen vegetatie”). In die studie werd niet alleen gewerkt met Sentinel-2 data, maar ook met data afkomstig van een commerciële satelliet (TripleSat dat door NSO ingekocht en beschikbaar is gesteld via het Satellietdataportaal (<https://viewer.satellietdataportaal.nl/>)).

Ook op het gebied van fytoplankton kan met aardobservatie technieken nuttige informatie worden ingewonnen, zoals chlorofyl-a en (blauw-)algenbloeien. Het is mogelijk om typen algen (blauw/groen) van elkaar te onderscheiden. Operationeel wordt dit echter nog niet uitgevoerd, terwijl er veel *in situ* data zijn voor kalibratie/validatie.

Remote sensing kan weliswaar vaak geen individuele soorten detecteren, maar wel de drivers daarvoor zoals troebelheid, watertemperatuur (nog grofschalig ruimtelijk gezien, 50 m resolutie gaat in de toekomst gerealiseerd worden) en waterpeil. Een voorbeeld project is Biomondo ([link](#)).

Aardobservatie gegevens van complexe watersystemen zijn niet geschikt om de biodiversiteit onder water (zoals zoetwater mosselbanken die permanent onder water liggen) in kaart te brengen.

4 State of the art in de wetenschappelijke literatuur

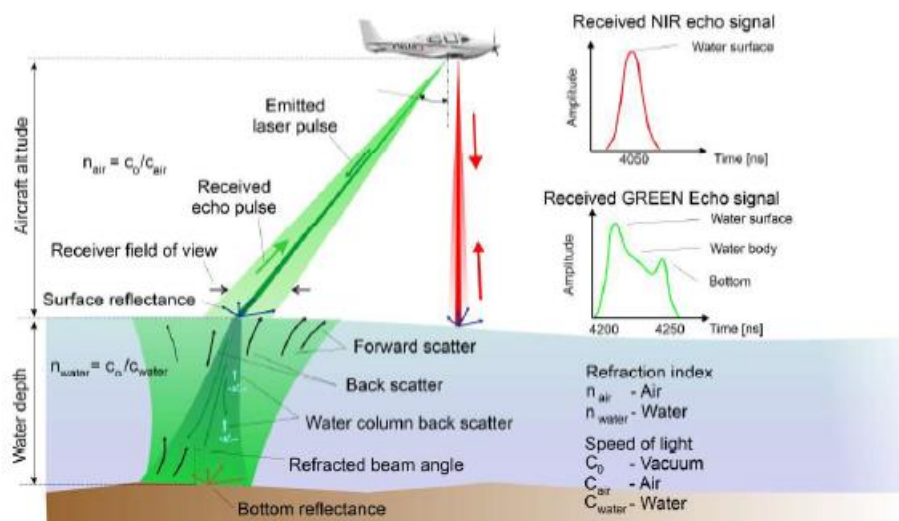
4.1 Bathymetrie

Radar signalen komen niet door water heen, maar, worden vooral gebruikt om het waterpeil te meten. Het waterpeil wordt waargenomen door vanuit satellieten radarsignalen te zenden die de tijd meten die radarpulsen nodig hebben om de gronddoelen te bereiken, direct onder de satelliet (nadirpositie), en het terugkeren van dat signaal (Ninõ et al. 2021).

De mogelijkheden om de bathymetrie passief-optisch (dus met alleen de zon als lichtbron) met satellieten te bepalen hebben als belangrijkste knelpunten dat de ruimtelijke resolutie van vrij toegankelijke beelden te grof is om de gewenste gedetailleerdheid (zie bijlage A over de workshops) te bepalen. Verder hebben ondiepe zoete wateren vaak te maken met opwerveling van de bodem, waardoor het water troebeler en complexer wordt en van invloed is op het teruggekaatste licht, en de bodem niet bepaald kan worden als de sensor deze niet ziet (Yuzugullu & Aksoy 2014).

Indien hoge-resolutie beelden gebruikt worden kunnen satellite-derived bathymetry (SDB) producten met een resolutie tot 2 m aangeboden worden (zie bijvoorbeeld [EOMAP](#)). Dit is tot nu toe enkel toegepast in kustwateren, en de vraag is hoe goed deze producten zouden zijn in zoetwater systemen, met meer optisch actieve stoffen in het water, dus waar het water vaak troebeler of bijvoorbeeld door opgeloste humuszuren (CDOM) gekleurd is.

Voor het fijnmazig in kaart brengen van de bathymetrie in ondiepe zones is het beter om vliegtuig remote sensing met een actieve lichtbron, LiDAR te gebruiken. LiDAR staat voor Light Detection And Ranging en is een technologie die de afstand tot een object of oppervlak bepaalt door middel van het gebruik van laserpulsen. Het instrument zendt een lichtpuls uit van bijvoorbeeld 532 nm (een groene golflengte die kort genoeg is om water te doordringen zonder uitgedoofd te worden, maar lang genoeg om niet in het water verstrooid te raken), die op de bodem van een waterlichaam (gedeeltelijk) teruggekaatst wordt. Door simultaan gebruik te maken van het uitzenden van een lichtpuls van 1064 nm (een infrarode golflengte waarmee de afstand tussen sensor en wateroppervlak wordt bepaald) kan de waterdiepte bepaald worden (Szafarczyk & Tos (2023), Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Werkingsprincipe LiDAR (Szafarczyk & Tos (2023)).

De toepassing van deze techniek is wel afhankelijk van de helderheid (en stabiliteit) van het water, net zoals alle remote sensing technieken waarin gebruik wordt gemaakt van optische data. De nieuwste sensoren zijn in staat om meer dan 100,000 punten per seconde te genereren leidend tot meer dan 10 punten per m² (Szafarczyk & Tos, 2023) en dus een ruimtelijk vrij gedetailleerd beeld verschaft van de bathymetrie. LiDAR kan ook vanaf satellieten worden toegepast, maar dan is de ruimtelijke resolutie crosstrack niet voldoende om de bathymetrie per m² in kaart te brengen (Thomas et al. 2021 komen op een nauwkeurigheid van ongeveer 10 meter). De satelliet tracks liggen ook ver uit elkaar in tegenstelling tot vliegtuig LiDAR. Pronk et al., 2024 (Tabel 1) geven een overzicht van de kenmerken van twee LiDAR missies (ICESat-2 en GEDI) in vergelijking met LiDAR vanuit een vliegtuig (Tabel 4.1). De auteurs laten ook zien dat de groene ICESat-2 ATLAS-punten de breedte van sterk reflecterende objecten zoals het water in een sloot overschatten.

Tabel 4.1 Eigenschappen van GEDI en ICESat-2 missies vergeleken met Lidar vanuit een vliegtuig. Bron: Pronk et al. (2024).

Mission	ICESat-2	GEDI	Airborne Lidar
Type	Photon counting	Full waveform	Either
Main objective	Cryosphere monitoring	Ecosystems	-
Duration	2018–now (ongoing)	2019–2023 (2024-)	Single flight(s)
Orbit inclination	92°	51.6°	NA
Laser pulse power	1 × 660 μJ	3 × 10,500 μJ	200 μJ to 8000 μJ
Beam power (strong/weak)	120 μJ/30 μJ	15,000 μJ/4500 μJ	200 μJ to 8000 μJ
# of tracks	6 (in 3 strong/weak pairs)	8 (4 strong, 4 weak)	1
Altitude	~480 km	~420 km	0.5 km
Track footprint	11 m	23 m	0.05 m
Along-track spacing	0.7 m	70 m	0.1 m
Across-track spacing	3 km/90 m between pair	0.6 km	0.1 m
Swath width	6.6 km	4.2 km	1 km
Beam frequency	532 nm (green)	1064 nm (near-infrared)	Either

4.2 Waterkwaliteit

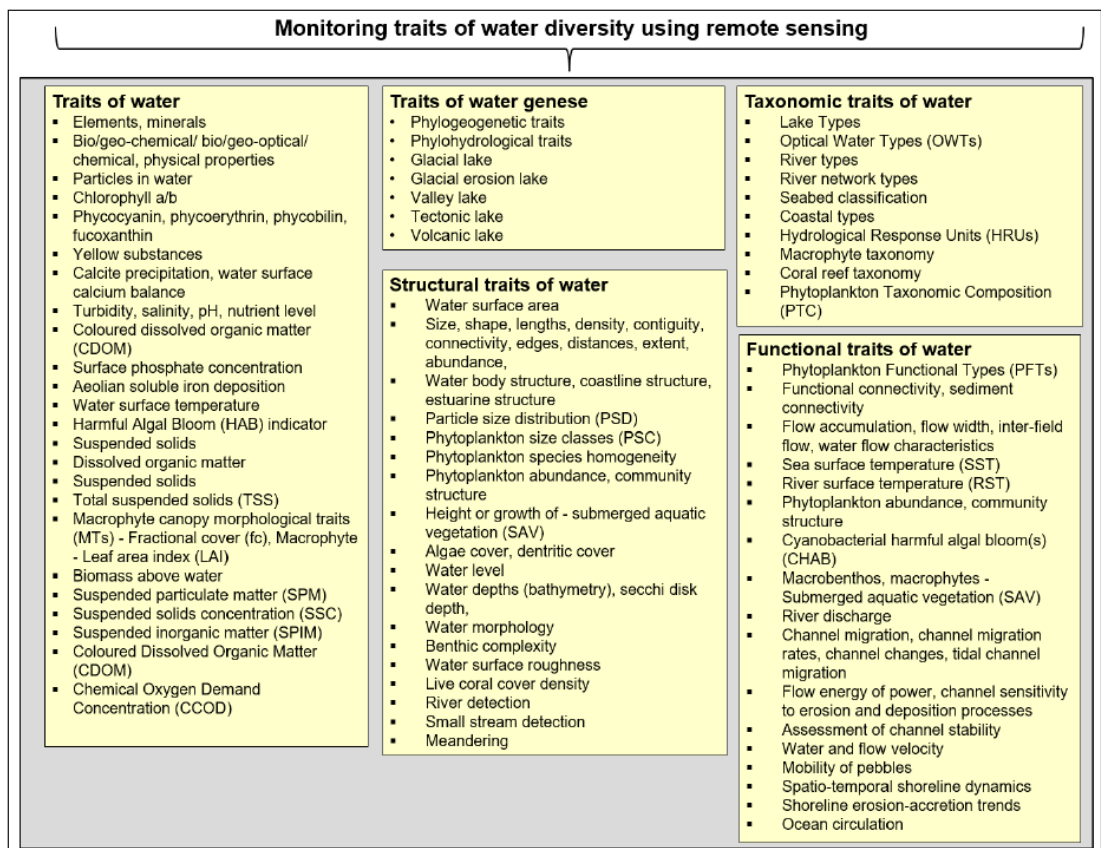
Voor het observeren van waterkwaliteit in meren van propriëties zoals we ze in Nederland aantreffen zijn op dit moment de meest gebruikte satellieten Landsat-8 en -9 en Sentinel-2A en-B (Murray et al. 2022). Landsat-9 is complementair aan Landsat-8. Beiden vliegen in dezelfde baan om de aarde, maar met een fase van 180°, waardoor beelden van een locatie elke 8 dagen gemaakt worden in plaats van eens in de 16 dagen (Murray et al. 2022). Hetzelfde geldt voor Sentinel2A (wordt vervangen door 2C) en -2B. Locaties worden dan eens in de 5 dagen bezocht. Voor het hebben van bruikbare beelden voor waterkwaliteitsdoeleinden (en biodiversiteit) is het wel zo dat de bewolking zo minimaal mogelijk (liefst afwezig) moet zijn.

Het gebruik van satellietdata ten behoeve van waterkwaliteit wordt al langere tijd toegepast. In de laatste twintig jaar zijn er vorderingen gemaakt op spectraal en ruimtelijk niveau bijvoorbeeld door sensoren die vooral voor landtoepassingen ontwikkeld zijn, ook voor binnen -en kustwateren in te zetten. Zo had de oceaan satelliet ENVISAT-MERIS een 300x300 m en heeft de huidige Sentinel-2 Multispectral Imager (MSI) een maximale resolutie van 10x10m en bandsettings die meer mogelijk maken op het gebied van waterkwaliteit dan de Landsat sensoren.

Verschillende parameters kunnen via aardobservatie technieken kwantitatief bepaald worden, zoals zwevend stof, chlorofyl-a en geelstof (deze laatste bestaat uit opgeloste humuszuren (CDOM), de gekleurde component van DOC) (Yang et al. 2022). In het EU project EOMORES werd een pleidooi gehouden om aardobservaties in te zetten ten behoeve van de KRW monitoring omdat het ruimtelijk en temporeel veel inzichten kan geven (Papathanasopoulou et al. 2019). Bewerkte kaarten voor bijvoorbeeld chl-a zouden vertaald kunnen worden naar KRW kaarten voor de desbetreffende parameter, wat het ruimtelijke waterkwaliteitsbeeld inzichtelijk maakt.

4.3 Aquatische biodiversiteit

Rechtstreeks onderwater biodiversiteit in zoet water bepalen via aardobservaties is niet mogelijk (BIOMONDO 2022). Bijvoorbeeld bij het monitoren van aquatische vegetatie onder water monitoren met satellieten heeft men te maken met zwevend stof en opgeloste stoffen onder water die interacteren met het gereflecteerde licht. Er zijn modellen om het effect van water weg te halen, maar er is geen model die je op alle watertypen kunt toepassen (Rowan en Kalacska 2021). Aardobservatie gegevens kunnen echter belangrijk zijn bij het meten van de aanjagers van veranderingen in biodiversiteit, zoals de grootte en posities van natte kunstwerken of het verlies van habitat (Dierssen et al. 2021 en Figuur 4.2). Ook aan het meten van biota kunnen aardobservatie gegevens bijdragen, zeker wanneer de biota aan het oppervlak aanwezig zijn, zoals bepaalde vormen van waterplanten/vegetatie en drijflagen van cyanobacteriën (Lausch et al. 2024). Individuen onderscheiden is vrijwel niet mogelijk in dit geval, het gaat altijd om oppervlaktes van bepaalde groepen/klassen, zoals bijvoorbeeld rietkragen.



Figuur 4.2 Watereigenschappen die met remote sensing gemeten kunnen worden (figuur bevat ook eigenschappen van mariene wateren). Bron: Lausch et al. (2024).

5 Advies

De workshop van 7 juni 2024 en de laatste literatuur over remote sensing toepassingen voor bathymetrie, waterkwaliteit en biodiversiteit zijn de basis voor de adviezen in dit hoofdstuk. De hieronder genoemde adviezen zijn samengesteld door beide activiteiten te combineren.

5.1 Bathymetrie

- Aardobservatie gegevens (dus vanuit een satelliet) gebruiken om de bathymetrie in kaart te brengen tot het niveau van enkele centimeters in bodemhoogte (z) en x,y is niet mogelijk, maar met commerciële “very high resolution images” kan z in decimeters en x,y en in meters in kaart worden gebracht. Voor hogere resolutie is het gebruik van drones (of vliegtuigen) bemand met LiDAR is een beter alternatief.
- Vegetatie kan soms wel als proxy worden meegenomen. Bepaalde vegetatiesoorten, die boven het water uitsteken, stellen eisen aan de waterdiepte en zodoende kan men gegevens verzamelen over bepaalde dieptes. Vegetatie die boven water uitsteekt kan met Sentinel-2 geobserveerd worden, eventueel ook met commerciële satellieten die een fijnere/hogere ruimtelijke resolutie hebben.
- Het combineren van technieken, zoals bijvoorbeeld LiDAR met vegetatiekarteringen (zie twee punten hierboven) of waterlijnen ten opzichte van waterpeilen en/of met RTK en GNSS ingemeten punten (landmeetkundige metingen), kan leiden tot een verbetering van de bathymetrie ten opzichte van het gebruik van één enkele techniek.
- De nieuwe SWOT satelliet kan waterpeil in kaart brengen. SWOT is geschikt voor meren met een oppervlakte tot 1 km². De nauwkeurigheid van het waterpeil is ongeveer 10 cm (SWOT-101 presentatie, [link](#)). Data zijn openbaar en SWOT dekt de hele wereld. Een verkenning naar de toepasbaarheid in Nederlandse watersystemen is aan te bevelen.

5.2 Biodiversiteit en waterkwaliteit

- Het meest voor de hand liggend is met Sentinel-2 te kijken naar (drijvende) waterplanten en dit te combineren met *in situ* data.
- Classificatie tools kunnen verder verkend worden om bijvoorbeeld na te gaan of ze uitgebreid kunnen worden met andere parameters zoals vegetatietypes.
- Luchtfoto's kunnen geanalyseerd worden om een onderscheid te maken in vegetatietypes, en diepte of mosselbanken voor zover de bodem zichtbaar is. Daarvoor is het nodig om een multispectrale, maar liefst een hyperspectrale camera te gebruiken, gemonteerd op een vliegtuig (of een drone, maar hyperpectraal met hoge resolutie betekent dat men moet nadenken over een slimme datareductie, want anders is de techniek niet geschikt om een heel gebied in kaart te brengen). Ook dient gelet te worden op beperkingen in vliegzones m.b.t. het vliegen van drones.
- Meer halen uit waterkleur onderscheidingen met Sentinel-2. In de workshop is o.a. gesproken over fytoplankton. Voor waterkwaliteit is het aan te bevelen om te zien of aardobservatie technieken van meerwaarde kunnen zijn in de KRW monitoring. Bewerkte beelden kunnen vertaald worden naar KRW kaarten, die vervolgens vergeleken kunnen worden met *in situ* data.

6 Referenties

- BIOMONDO (2022) A detailed analysis of the scientific and policy biodiversity priorities and challenges. Deliverable D1.1: Requirement Baseline. Website: http://biomondo.info/files/docs/BIOMONDO_D1.1_RequirementsBaseline_v2.1.pdf.
- De Lange, M. (2023) Inzet van remote sensing voor monitoring maatregelen onder water. RWS presentatie KRW-Rijk-regiodag, NHV najaarsbijeenkomst 10 oktober 2023.
- Dierssen, H.M., S.G. Ackleson, K.E. Joyce, E.L. Hestir, A. Castagna, S. Lavender & M.A. McManus (2021) Living up to the hype of hyperspectral aquatic remote sensing: science, resources and outlook. *Frontiers in Environmental Science* 9: 649528.
- Heins, R., I. van Leijenhorst & J. Lourens (2020) Ecologische opgave land-water overgangen voor een robuust IJsselmeergebied – werkdocument Programma Aanpak Grote Wateren. Uitgave Rijkswaterstaat Midden Nederland.
- Klein Schaarsberg, F.L.H. & K. Ivushkin (2021) Monitoring vegetatie op land. Rapportage t.b.v. project WN08 2019 Marker Wadden – Remote Sensing. Referentie: 119777/21-017.059.
- Lausch, A. et al. (2024) Monitoring water diversity and water quality with remote sensing and traits. *Remote Sensing* **16**, 2425. <https://doi.org/10.3390/rs16132425>.
- Niño, F., C. Coggiola, D. Blumstein, L. Lasson and S. Calmant, Monitoring of Inland Water Levels by Satellite Altimetry and Deep Learning, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. **60**, pp. 1-14, 2022, Art no. 4205814.
- Papathanaopoulou, E., Simis, S. et al. 2019. Satellite-assisted monitoring of water quality to support the implementation of the Water Framework Directive. EOMORES white paper. 28pp. doi: 10.5281/zenodo.3463051.
- Pronk, M., Eleveld, M., Ledoux, H., 2024. Assessing Vertical Accuracy and Spatial Coverage of ICESat-2 and GEDI Spaceborne Lidar for Creating Global Terrain Models. *Remote Sens.* 16, 2259. doi: 10.3390/rs16132259
- Szafarczyk, A. & C. Tos (2023) The use of green laser in LiDAR bathymetry: state of the art and recent advancements. *Sensors* **2023**, 23, 292.
- Thomas, N., A.P. Pertwi, D. Traganos, D. Lagomasino, D. Poursanidis, S. Moreno, & L. Fatoyinbo (2021) Space-borne cloud-native Satellite-Derived Bathymetry (SDB) models using ICESat-2 and Sentinel-2. *Geophysical Research Letters*, **48**, e2020GL092170. <https://doi.org/10.1029/2020GL092170>.
- Yuzugullu, O., & A. Aksoy (2014) Generation of the bathymetry of a eutrophic shallow lake using Worldview-2 imagery. *Journal of Hydroinformatics* 16: 50-59.

A Verslagen van de bijeenkomst op 7 juni 2024

Bathymetrie Groep 1

Rijkswaterstaat doet met LiDAR al in situ monitoring. Zoet water is moeilijker te detecteren, o.a. vanwege te weinig zon.

De wens van RWS is om te meten in de eerste 50 cm op de volgende manier: eerste 5 cm (vogelniveau) en dan elke 10 cm.

Als je kijkt naar soorten dan zegt dat wat over het habitat (Ellenbergwaarden). Bijvoorbeeld: is lisdodde aanwezig? Dan zegt dat wat over de diepte van het water want lisdodde heeft een grens wat betreft waterpeil.

Databron voor hoge resolutie beelden is satellietdataportaal. Let op! De site is vernieuwd (URL nog dezelfde): <https://www.satellietdataportaal.nl/>.

Drijvende vegetatie en troebelheid is beperkende factor.

Wens van RWS is om 2x per jaar metingen te doen aan bathymetrie, de rest van de tijd kan met modellering gedaan worden. AHN kaarten zouden gebruikt kunnen worden voor bijvoorbeeld het in kaart brengen van het droogvallen van nevengeulen. Luchtfoto's (RGB en infrarood) zijn vaker (voor-en najaar via waterschapshuis) beschikbaar.

De ecotopen indeling onder water is op basis van diepte. Kan deze klasse-indeling gedetailleerder? Vegetatie zelf telt niet mee. Er zijn wel eco-elementen zoals riet en biezen. Als je deze monitort vanuit de ruimte dan zou je wellicht de ecotopen indeling gedetailleerder kunnen maken.

RWS heeft gekeken hoe de Carto tool van SPHEER.AI werkt en binnen RWS is men enthousiast omdat de tool met behulp van Sentinel-2 beelden heel snel ruimtelijke beelden produceert van vlakken waarin bijvoorbeeld wel of geen riet voorkomt. 52Impact geeft aan dat ESA SNAP Magic Wand Tool iets soortgelijks is.

Waterkwaliteit en biodiversiteit (Groep 2)

Waterkwaliteit

Operationeel wordt er nog te weinig gewerkt EO data voor waterkwaliteitstoepassingen terwijl er wetenschappelijk aangetoond is dat er veel met EO data gedaan kan worden. Primaire productie wordt vaak gevraagd door waterbeheerders, maar het EO binnenwater product is nog niet optimaal.

Biodiversiteit

Wat nu al moet kunnen is variatie in vegetatie in kaart brengen. Je zou vegetatie in klassen kunnen indelen, vraag is of dit al wat is voor RWS. Met Sentinel-2 en Sentinel-3 is het ook mogelijk om ook onderwater vegetatie gedeeltelijk te observeren.

Het is al een tijd mogelijk om groen- en blauwalgen van elkaar te onderscheiden.

Remote sensing kan weliswaar geen individuele soorten detecteren, maar wel de drivers daarvoor zoals troebelheid, watertemperatuur (nog grofschalig ruimtelijk gezien, maar dat gaat veranderen) en waterpeil. Een voorbeeld project is Biomondo ([link](#)).

Advies aan RWS (Groep 3)

Bathymetrie

- Er zullen methodes gecombineerd moeten worden, maar men ontkomt er niet aan dat er eerst ook nog meer onderzoek voor nodig zal zijn. Troebelheid van het water zal het echter altijd lastig maken.
- Een betere kans om de bathymetrie in kaart te brengen is het gebruik van drones.
- Als proxy zou wel naar vegetatie gekeken kunnen worden (zie ook Bathymetrie Groep 1 hierboven).

Waterkwaliteit/biodiversiteit

- Eerste biota groep om naar te kijken zijn de waterplanten (kranswieren etc.). Dit dient wel in combinatie met veel in situ te gebeuren. De *in situ* zou van tevoren operationeel en consistent (dus altijd op dezelfde manier en plek meten) gemaakt kunnen worden. Ook zou je kunnen kijken of je luchtfoto's spectraal kunt inzetten om te kijken hoeveel onderscheid je in vegetatietypes kunt krijgen.
- De luchtfoto's kun je daarnaast ook inzetten om te kijken wat je er verder uit kunt halen zoals diepte, mosselbanken etc. Airborne (hyperspectral) voor binnenwateren blijft nodig.
- Er komen nieuwe satellietmissies aan zoals CHIME (o.a. voor waterkwaliteit en biodiversiteitsvraagstukken) en LSTM (Temperatuur)

Remote sensing van ondiepe binnenwateren, 07-06-2023

Gedurende de middag werd het **onderwerp** duidelijker. Denk bij ondiepe binnenwateren aan alles wat geen slotjes of zee is. Dus ook nevengeulen, verdieping, morfologische veranderingen over de tijd.

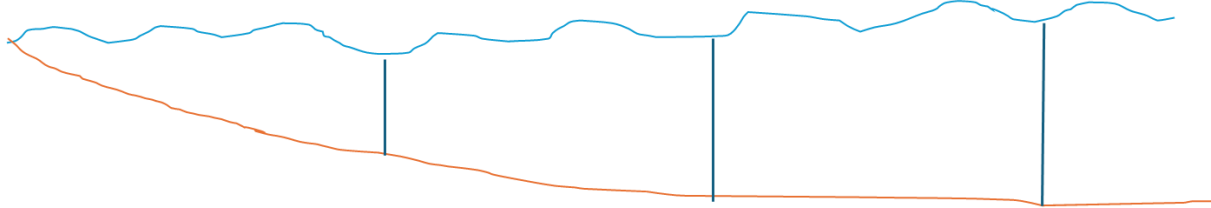


Fig. 1. Schets diepteklassen, ecotopen

Wat kunnen we met remote sensing in de verschillende diepte compartimenten (zie schets Fig.1)

Voorbeeld van een **probleem**: Trintelzand, Marker Wadden. Als de waterspiegel verhoogd wordt hoeveel dagen kunnen de vogels dan nog staan of is het water net te diep.

Discussie / brainstorm n.a.v. de nog wat breed geformuleerde vragen

Groep 1: RS & Bathymetrie .

Kwantiteit areaal ondiep water?

- Grens land-water kan met EO (optisch of SAR) als er geen bomen boven staan, lidar prikt daar soms doorheen, d.w.z. raakt een paar punten die net geen boomkruin zijn.
- Dieptegrens, op basis van waterlijnen kan een profiel te gecreëerd worden. Een optische grens geeft aan waar geen licht meer terug naar de sensor (of je ogen) gaat, bijv. d.m.v. een berekening van de Secchi disk diepte uit remote sensing beelden.

Rivieren: hoe ga je om met variatie in peil?

- Is de vraag, kunnen we een profiel creëren: In principe, ja, bijv. met behulp van waterlijnen.
- Je ziet kan land en water onderscheiden, en met een tijdsreeks dus trends daarin.
- Is er behoefte aan waterpeil (dus de hoogte van het wateroppervlak) uit altimeters (evt. in de toekomst cubesats)?

Ecotopen: verdieping diepteklassen mogelijk?

- Ecotopen: Als je het de bodem/planten zelf in het veld kan zien ziet remote sensing het ook (o.a. de schaal en frequentie bepaalt welke technieken gebruikt kunnen worden)
- **Diepteklassen** interpreteren we als de eerdere schets (Fig. 1).
- Is de vraag, kunnen we een profiel creëren? Met behulp van waterlijnen:
- Als het overgangszones van tientallen meters betreft, waterlijnen met een stack optisch & radar S2, S1, anders hogere resolutie data, bijv. van het Satellietdata portal.
- Diepte (bijv. door naast AHN vliegtuiglidar) een groene laser (te plaatsen)?
- Kunnen we diepte afleiden uit opwerveling en daardoor oppervlakte kleur, golven?
- Kunnen we nog iets met golfsnelheid en structuren met video streaming?

Conclusie: Wellicht kunnen we iets met een multi-sensor oplossing waarop additionele ruimtelijke analyses worden toegepast.

Verdieping? Vraag van de remote sensing mensen: Wat is er nu?

- In de RWS ecotopen web-viewer zien we na riet bij dieper water eigenlijk maar twee klassen, nl. stilstaand of bewegend water, en hoog, middel en laag dynamisch.
- In de remote sensing wereld wordt gewerkt aan: oppervlakte, waterpeil, (totaal) volume.
- Er komt minder licht dieper in en uit het water. Er kan gecorrigeerd worden voor vertekeningen door refractie aan het wateroppervlak, effecten van glinstering (sun glint), en waarschijnlijk voor polarisatie met PACE, voor grote wateroppervlakken (kms).

Groep 2: Biodiversiteit en waterkwaliteit

Kwaliteit van het areaal (onderwater structuren, waterplanten etc.)?

Biodiversiteit?

- **Biodiversiteit:** Wat heeft RWS nodig? Planten, dieren? Habitats? Ecotopen? Sluit dit aan bij gepresenteerde projecten, of de SBIRs, bijv. met AI (foundation models).
- **Waterplanten** die boven water uitkomen kunnen we zien, als ze over voldoende groot oppervlak in hoge concentraties voorkomen. In/onderwater alleen als je het in het veld (met veel contrast bijv. tegen een lichte achtergrond) ook ziet. Als er met tijdseries beelden gerekend wordt kan (mobiel)er fytoplankton mogelijk van waterplanten onderscheiden worden, en wellicht kunnen we nog iets met de fenologie van de waterplanten om de te detecteren soort te bevestigen. Radar gebruiken als we een invloed zien op de ruwheid (drag) op oppervlakte.
- Ook **mosselbanken onder water** is lastig, wellicht tegen een lichte achtergrond met helder water, of voor radar als ze de oppervlakte stroming echt beïnvloeden (dat verwacht je eerder van grotere structuren vaargeulen e.d. Onderwaterstructuren als kribben in ondergelopen uiterwaarden zie je wel aan water opp.)
- Kunnen waterplanten als proxy voor diepte dienen?

Vraag van de remote sensing mensen: Hoe wordt dit nu bepaald?

- Biodiversiteit wordt bepaald met de Biodiversiteitsmaatlatten. Soms soort-gerelateerd.
- Habitatkaarten van ecologisch adviesburo's
- Waterplanten met de hark
- Morfometrie uit stereo-fotogrammetrie,
- Hoogtemetingen RTK, diepte metingen echolading

Wat kan waarschijnlijk wel:

- Het drijvende gedeelte van waterplanten. Habitat: Afstand tot de waterlijn, optisch water type, over de tijd, optische waterkwaliteitsvariabelen (kleur, chlorofyl, zwevend stof, mogelijk CDOM, Secchi disk depth etc.) sommige abiotische omgevingsvariabelen zoals water temperatuur.

Behoeft:

- *Ontwikkeling in de tijd volgen?*
- *Zo makkelijk/automatisch mogelijk?*
- *Onderbouwing: Doelbereik KRW & PAGW?*

Groep 3: Advies:

*Hoe **precies** kan er gemeten worden?*

*Wat kan er **onderwater** gemeten worden?*

Ons **alternatieve advies** is:

- Ons advies is om de twee werelden (EO en toepassing) bij elkaar te brengen. Remote sensing specialisten willen weten wat er al is, als er gevalideerd, gekalibreerd of zelfs data-gedreven gewerkt gaat worden. Maak de referentiemetingen FAIR beschikbaar.
- Zoek naar combinaties van technieken. Voor bathymetrie is bijv. al met een combinatie van technieken gebruikt. Diep sonar, ondiep turbide met varende drones, waterlijnen.
- Wellicht valt er nog e.e.a. uit proxies te halen: Diepte uit kleurverschil door opwerveling, golven, wat groeit er, ..
- Habitats door te combineren met andere info bijv. materiaal (ruw beton), glooiend, ..
- Satelliet remote sensing biedt overzicht.

Workshop Remote Sensing Ondiep Water 7 juni 2024, Utrecht

Remote sensing en bathymetrie:

Kwantiteit areaal ondiep water: Werkt goed als het water helder is en de ondergrond niet te donker. Niet als het water troebel is (geen bodemzicht) en als de ondergrond donker is door bijv. bladresten of een humuslaag. Ruimtelijke variatie in kleur kan door het algoritme als diepte variatie worden gezien (donkere plek = diep gat).

In Nederland door troebel water is visual RS vaak lastig, zeker dieptezonering. Soms mogelijkheden in seizoen, bijv. helderder water in de winter (Grevelingen).

Meer mogelijkheden via waterlijndetectie, dan echter veel metingen nodig binnen een relevante periode (jaar?) voor een compleet beeld, zeker als trend door de jaren ook relevant is. Dit werkt natuurlijk voor de arealen die soms droogvallen, over de dieptegradient zonering van multibeam met schepen (SONAR, nu raaien om de 200 m, eens per 6 of 12 jaar) – lidar of waterdrone – waterlijn detectie. Lidar geeft dubbel signaal, van wateroppervlak en bodem (tenzij die bijv. donker is). Voor zeer ondiep water zijn stereoluchtfoto's een optie.

Er is ook een optie om dieptes af te leiden uit golflengtes, werkt goed voor Noordzee, mogelijk ook voor grotere binnenwateren (golflengtes van meer dan 5 meter). Werkt best bij harde wind, voor zover er dan geen wolken zijn, of radar gebruiken.

Koppeling van verschillende methodes over de dieptegradient is lastig gebleken door niet matchende referentiesystemen. (Deltares: 10 mensen team opgeheven door lastige koppeling).

Biodiversiteit en waterkwaliteit

Vegetatie: Wat op de oever staat, boven water uitkomt of drijft is goed te doen (drijfbladplanten, maar ook canopy-vormende fonteinkruiden, aarvederkruid etc.), wat onder water groeit zonder het oppervlak te bereiken is lastiger, afhankelijk van diepte en helderheid (in interactie met die vegetatie, dus ook op die manier lastig te interpreteren).

Infrarood van belang. Misschien is er meer mogelijk met hyperspectral RS, maar dan lage resolutie, en ground truthing (relevante veldgegevens) onmisbaar. Onderwater vegetatie, slap sediment of bomen, stenen etc. onder water soms mogelijk, maar voor kleinere objecten snel te lage resolutie (mogelijk meer resolutie zwart-wit RS?). Interpretatie zeer afhankelijk van gebiedskennis.

Algen/fytoplankton: Onderscheid typen algen (blauw/groen) mogelijk.

Mosselen: Radar microgolven, door wolken heen, vliegt met vliegtuig ook onder de wolken, maar niet onder water, mossel op droogvallende platen (Waddenzee) kan. Mossel zoetwater met sonar, maar dan toch weer boot heen en weer. Hoge dichtheden driehoeks/quaggamosselen geeft helder water, maar niet consequent door seizoen en jaren. Kleurverschil is relevant voor onderscheid, maar resultaten anders dan bij kartering, bijv. doordat geen onderscheid is te maken tussen dode en levende mosselen, kluitjes, banken of losse mosselen. Grootste deel mosselbanken niet zichtbaar door troebel water.

B Beantwoording vragen door internationale experts

Naast de workshop met Nederlandse experts zijn er ook een aantal vragen gesteld aan experts werkzaam in het buitenland. Hieronder wordt per expert de antwoorden op de vragen gegeven.

Plymouth Marine Laboratory, VK

Bathymetrie:

- Is het mogelijk om het areaal ondiep water te kwantificeren in rivieren en meren? Zo ja, hoe dan? Het gaat hier dan voornamelijk om de 0-1 m zone dus heel ondiep.

Typisch geval van 'hang er van af'. Het is soms mogelijk op dezelfde manier als dit bij kustwater gedaan wordt, door aannames te doen over hoeveel lichtafzwakking in de waterkolom plaatsvindt. Als er dan meer signaal dan verwacht wordt gemeten, komt dit van de bodem, en de afzwakking zelf kan vertaald worden naar waterdiepte. Neem wel kennis van het begrip 'optisch diep' en 'optisch ondiep'. Optisch diep betekent geen interactie van licht met de bodem en dan is het niet mogelijk dit via optische satellieten te doen. Maar goed, het is dan ook minder interessant ivm biodiversiteit.

Een ideaal geval is: een ondiep meer met een helder-waterfase, waarbij de helderheid van het water redelijk kan worden ingeschat (bijvoorbeeld met enkele referentiemetingen). Nog beter als er een inschatting mogelijk is van hoe de bodem licht absorbeert (bijvoorbeeld zand, algen, modder)

Mijn aanpak voor een meer zou zijn: bekijk in redelijk open water wat de verticale uitdoving is (kan met satelliet) en gebruik die waarde over het hele meer. Dat werkt dus niet goed als er horizontaal optische verschillen zijn in de waterlaag, maar aan de andere kant kun je wel kijken naar windeffect en de meest stabiele data gebruiken. Voor rivieren heb je deze keus niet, dus zal het minder goede inschattingen geven.

- Rivieren: hoe ga je om met variatie in peil? Hoe goed kun je dat monitoren?

Dat komt zowel bij meren als rivieren naar voren. Het is mogelijk gebruik te maken van altimetrie, oftewel satellietradar. Er is sinds kort de SWOT satelliet die hele gebieden in kaart brengt, in plaats van losse peilpunten (die een rivier of meer kunnen overslaan). Je krijgt dan de waterhoogte vergelijken met een referentiepunt (de geoïde). Daarmee kun je dus relatieve veranderingen zien, of per meetpunt dus 1 keer in het veld meten voor altijd.

Parameters gerelateerd aan biodiversiteit (anders dan waterkwaliteit):

- Is het mogelijk om de kwaliteit van het areaal tussen 0 en 1 meter te meten?

Kwaliteit, maar anders dan waterkwaliteit? Ik begrijp de vraag niet helemaal. Het dieptebereik varieert (zie boven). Daarnaast is de kwaliteit van de inschatting nogal afhankelijk van hoe zwaar de satellietmeting door de atmosfeer wordt beïnvloed. Dicht bij land neemt de onzekerheid toe door het contrast in signaal tussen land en water.

Wellicht is een specifieke methode voor heel ondiep water nuttig te bestuderen. Water absorbeert licht heel effectief in het infrarood, dus een zeer ondiepe waterlaag kan hiermee wellicht worden onderscheiden van land en dieper water. Ik denk dat dit enigszins kwalitatief zal blijven, dus bijvoorbeeld als een product 'zeer ondiep water' zonder verdere kwantificatie. Nooit geprobeerd 😊

Een verder punt is nog: welke satelliet gebruik je hiervoor. Copernicus heeft Sentinel 2 met de MSI die tot 10m pixels levert. Over 10m kun je al best tot dieper dan 1 meter uitkomen. Meer detail vereist gebruik van commerciële satellieten en die zijn niet altijd van dezelfde kwaliteit.

Uiteraard kan er ook een camera op een UAV platform worden rondgevlogen, als je meer detail wil en geen gedoe met atmosferische correcties.

- Hoe goed kun je in binnenwater structuren zoals waterplanten onder water detecteren en kwantificeren?

Dat hangt volledig af van welke databron we gebruiken, en de pixel-grootte. Ik zou er vanuit gaan dat het niet mogelijk is om te onderscheiden of 'iets groens' op de bodem, planktonisch, of een plantje is.

In de rivierdelta is het een ander verhaal, daar kunnen we wel kijken naar vegetatie in de getijdzone (wanneer deze droogvalt). We hebben hier wat werk aan verricht, gebruikmakend van drones en satellieten.

Algemeen:

- Hoe precies kan er (ruimtelijk) gemeten worden?

Als er miljoenen €€ beschikbaar zijn, wellicht 1m. Anders zou ik het houden op 10m.

- Welke parameters, anders dan waterkwaliteit, kunnen onder water gemeten worden?

Ik denk je bedoelt: op afstand, dus met bv satellieten? Niet heel veel! IJsdiepte is wellicht interessant?

SYKE, Finland

Bathymetry: Quantifying the shallow water area in rivers and lakes depends on what 'quantify' means: forming a depth map, or just identifying shallow areas. It requires the water to be clear enough for the bottom to be visible and the image resolution to be sufficient. In practical applications, one should first inspect the area with true color images (VHR and Sentinel-2) to see if the bottom can be mapped at all and whether VHR resolution is needed. Then, the shallow areas can be extracted either with satellite bathymetry methods or just by thresholding reflectance. In our experience, the biggest challenges in bathymetry are usually noise and calibration and that the bottom may not have a uniform reflectance or there may not be enough variation in depths for satellite bathymetry to provide absolute depths. Instead, the reflectance signal might come from variations in benthic vegetation or hillshade effects from ridges and crests in the bottom sediment.

Water Level Variations: If the extinction and attenuation characteristics of the river water remain the same throughout the year, then in principle, bathymetry could also be used. However, better solutions are: (1) converting the extent of the water-covered area into the river's surface height, if the riparian areas are low-lying or if the river is prone to flooding; (2) satellite altimetry, if the river is large enough, (3) monitoring the water level of the headwater lake and converting it into the discharge of the outlet and from there into the river's surface height. However, in Finnish environmental administration, we use automated in-situ measurements and flow-determination weirs as the source of hydrological information and do not routinely link EO to specific discharges or water levels.

Quality of the habitat: This question is a bit vague to us since we would need to know how river habitat quality is defined and qualified in the Netherlands. I assume that the main deteriorating factors are eutrophying / silting load, water construction, alien species, water level variations, and too abundant aquatic vegetation. Earth Observation (EO) can provide supportive information for all of these, at least in theory, but a lot of expert judgement is needed.

Underwater Structures, macrophytes etc.: Different targets can be identified and segmented based on spectral information, but this doesn't practically eliminate the need to collect a good aerial or drone image set and/or habitat mappers and divers for reference, and the use of field-specific expert knowledge.

Spatial Accuracy: With openly available EO data, the terrain resolution is at best 10 meters, with commercial VHR data in multispectral bands we are around a couple of meters but with panchromatic we can reach 30 cm. Aerial orthophotos, on the other hand, reach around 30 cm, and with drone images, even a few centimeters' accuracy is possible. Rivers and various small streams would be an excellent operating environment for drones, as these areas have a lot of risk of shadowing by trees and terrain etc. on sunny days when satellite observations are usually collected. In aerial orthophotography and drone imaging, it is possible to measure under diffuse light when tree or vegetation shadows no longer interfere.

Underwater Parameters: In theory, at least the following parameters are possible: substrate composition (soft/hard bottom, even soil type), aquatic vegetation, bottom ridges and other geological formations, erosion and deposition sites, groundwater discharge sites (based on temperature), with drone imagery even aquatic mammals or their habitats or nesting sites if large enough (?).

I asked Saku Anttila (Syke) about what was done in EOMORES back in the days. According to him, Water Insight made a website where WQ parameters could be visualized to customers, but this service seems to be closed down now or its development has been passed on to new developers. As for Syke, a partial goal of the project was to boost the development of Tarkka web application (<https://tarkka.syke.fi/eo-tarkka/?ver=0&lang=en>), and this contribution is still very much alive, with the newest version being launched a year ago. Some of the EOMORES ideas are reflected also in Tarkka's user experience design and vice versa.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl