

Bureaustudie Aardobservatie voor waterkwaliteit

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Directoraat-generaal Water en Bodem
oktober 2023



Marnix Laanen & Annelies Hommersom
info@waterinsight.nl

Inhoud

Inhoud	1
Gebruikte afkortingen.....	3
Samenvatting	3
1 Doel, achtergrond en indeling	4
2 Hoe werkt oppervlaktewaterkwaliteitsmonitoring met satellietdata	5
2.1 Remote sensing.....	5
2.2 Optische satellietbeelden	5
2.3 Resolutie, voetafdruk en frequentie	6
2.4 Bewerkingen	7
2.5 Voor- en nadelen van satellietdata.....	7
3 De (on)mogelijkheden van aardobservatie voor oppervlaktewaterkwaliteit.....	8
3.1 Parameters in de waterkolom	8
3.2 Afgeleide parameters of indicatoren in de waterkolom.....	9
3.3 Parameters aan het wateroppervlak	10
3.4 Waterbodem.....	10
3.5 In combinatie met modellen.....	11
3.6 Statistische informatie in tijd en ruimte	11
4 Voorbeelden van het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit.....	12
4.1 Voorbeeld (blauw)algen.....	12
4.2 Voorbeeld schadelijke algenbloei	13
4.3 Voorbeeld baggerpluimen	14
4.4 Voorbeeld zeegras	15
4.5 Voorbeeld Kaderrichtlijn Water.....	15
4.6 Voorbeeld kroos / vegetatie	17
4.7 Voorbeeld Sargassum	17
5 Vraagstukken met betrekking tot waterkwaliteitsmonitoring	19
5.1 Rol van IenW in organisatie van waterbeheer.....	19
5.1.1 Overzicht waterbeheer	19
5.1.2 Protocollen en uitvoeringsdocumenten	20
5.1.3 Data, informatieuitwisseling en datagedreven werken.....	20
5.2 Onderwerpen met betrekking tot waterkwaliteit op de agenda van DGWB	21
6 Uitkomsten workshop.....	21
6.1 Gebruik van en initiatieven voor Aardobservatie voor waterkwaliteit in Nederland	21

6.1.1	OSPAR / KRM eutrofiëring status.....	22
6.1.2	Roadshow bij waterschappen.....	22
6.1.3	Remote sensing portal en veranderend monitoringsplan bij Rijkswaterstaat-CIV.....	23
6.1.4	Satellietdataportal NSO.....	23
6.1.5	Voorbeelden van andere diensten relaterend aan water, gebaseerd op Aardobservatie, in Nederland.....	25
6.2	Visie van de deelnemers van de workshop.....	25
6.2.1	Wat helpt ons vooruit voor gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit?	26
6.2.2	Wat houdt ons tegen voor gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit?	27
6.2.3	Wat is prettig aan gebruik aardobservatie?.....	27
6.2.4	Wat is lastig of zijn (mogelijke) toekomstige bottlenecks voor gebruik aardobservatie?	27
6.2.5	Wat is precies het doel van gebruik aardobservatie?.....	28
6.2.6	Wie leidt, wie staat aan het roer?.....	29
7	Aanbevelingen voor het gebruik van aardobservatie voor IenW	30
7.1	Algemeen	30
7.2	Concrete mogelijke pilots vanuit IenW.....	31
8	Referenties.....	34
	Bijlage 1: Overzicht van mogelijke parameters	38
	Tabel met parameters.....	38
	Technologische ontwikkelingsfase.....	42
	Bijlage 2: Geschiede satellieten, resoluties en frequenties.....	43
	Bijlage 3: Voorbeelden van commissies en platforms op het gebied van waterkwaliteit.....	45
	Bijlage 4: geïnterviewden en deelnemers workshop.....	47
	Geïnterviewden.....	47
	Deelnemers workshop.....	47

Gebruikte afkortingen

Afkorting	Betekenis
AI	Artificial Intelligence
DGWB	Directoraat-generaal Water en Bodem
HAB	Harmful algae bloom, oftewel een schadelijke algenbloei
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
KRW	Kaderrichtlijn water, oftewel de EU Water Framework Directive
L8/L9	Landsat 8, 9: OLI (optisch) en TIRS (thermal) satellietinstrument
PN	Pléiades NEO satellietinstrument
RWS	Rijkswaterstaat
S3	Sentinel 3 OLCI (optisch) en SLSTR (thermal) satellietinstrument
S2	Sentinel 2 MSI satellietinstrument
SV	SuperView satellietinstrument
TRL	Technological Readiness Level
WV	WorldView 3, 4 satellietinstrument

Samenvatting

Mede doordat IenW meer datagedreven wil gaan werken, leeft bij DGWB de vraag om meer informatie over de (on)mogelijkheden van het gebruik van aardobservatie voor het monitoren van waterkwaliteit en aanbevelingen die aansluiten op concrete vraagstukken. Deze bureaustudie beoogt deze informatie te verschaffen.

In het kort leggen we uit hoe het monitoren van oppervlaktewater met aardobservatie werkt en wat de voor- en nadelen van het gebruik van aardobservatie en de (on)mogelijkheden zijn. Met een aantal voorbeelden van het gebruik van aardobservatie wordt dit concreter gemaakt.

Door middel van een interview bespreken we welke onderwerpen met betrekking tot waterkwaliteit hoog op de agenda staan bij DGWB. Deze informatie werd als input gebruikt om een workshop te organiseren met een bredere groep betrokkenen. We bespreken onderwerpen waarvoor al aardobservatie wordt gebruikt binnen Nederland en wat voor initiatieven er zijn binnen overheden. Ook wordt een sectie gewijd aan de visie van de deelnemers aan de workshop op het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit en hoe hiermee verder te komen.

We sluiten af met aanbevelingen voor het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit en enkele concrete voorbeelden.

1 Doel, achtergrond en indeling

De Informatiestrategie van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) is geformuleerd als ambitie: “IenW ontwikkelt zich tot een proactieve en innovatieve speler op het gebied van data en digitale innovaties. IenW presenteert zich daarmee als een beter presterende overheid die waarde toevoegt aan de samenleving.” Door datagedreven te werken is IenW in staat beter onderbouwd beleid te formuleren, de beleidsuitvoering te versterken en de doelmatigheid en doeltreffendheid van beleid te onderbouwen met data.

Eén van de databronnen is aardobservatie. De IenW afdeling DGWB heeft daarom behoefte aan meer informatie over de (on)mogelijkheden van het gebruik van aardobservatie voor het monitoren van waterkwaliteit en aanbevelingen die aansluiten op concrete vraagstukken. Deze bureaustudie beoogt deze informatie te verschaffen.

Hoofdstuk 2 geeft in het kort weer hoe waterkwaliteitsmonitoring met satellietbeelden werkt, zodat ook de meest gebruikte termen duidelijk zijn voor de lezer.

Hoofdstuk 3 zet de (on)mogelijkheden van het gebruik van aardobservatie op een rij. Hierbij wordt geput uit (wetenschappelijke) publicaties en publiek beschikbare rapportages van EU-subsidieprojecten (details in Bijlage 1). Hoofdstuk 4 geeft een aantal praktische voorbeelden van toepassingen.

Om inzicht te krijgen in concrete vraagstukken met betrekking tot waterkwaliteitsmonitoring die spelen bij DGWB en feedback te verkrijgen op de lijst met mogelijke parameters is een dubbelinterview gehouden met enkele medewerkers van het DGWB (verwerkt in Hoofdstuk 0) en is een workshop met een iets grotere groep betrokkenen gehouden die wordt besproken in Hoofdstuk 6.

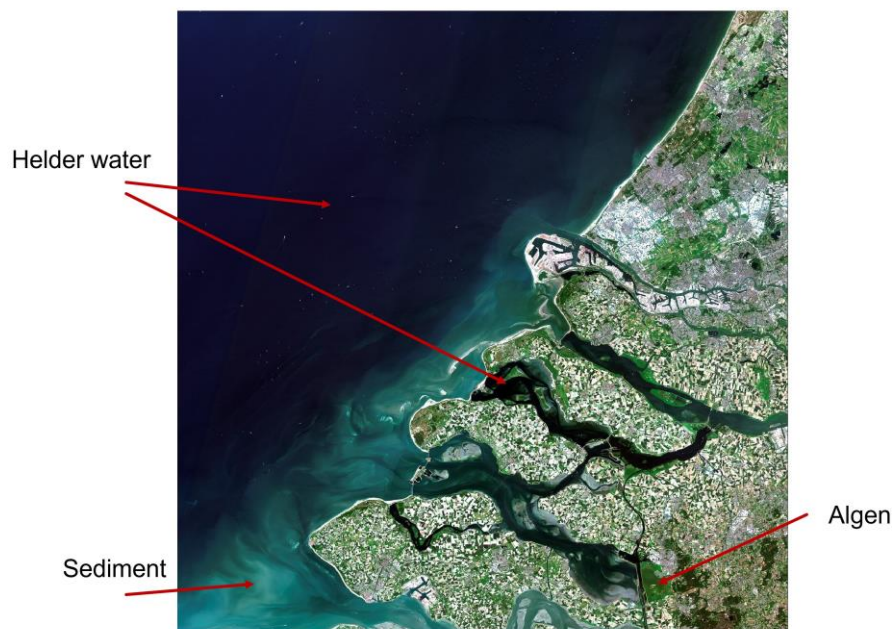
Hoofdstuk 7 combineert hoofdstukken 3 - 6 door aanbevelingen te geven van mogelijkheden van monitoring van aardobservatie voor concrete toepassingen die aansluiten bij behoeften van het DGWB.

2 Hoe werkt oppervlaktewaterkwaliteitsmonitoring met satellietdata

2.1 Remote sensing

In deze studie zullen we kijken naar monitoring van oppervlaktewater met satellietbeelden. Hiervoor worden beelden van optische aardobservatiesatellieten gebruikt. Wat dit precies zijn en hoe dit werkt zullen we hier in het kort uitleggen.

Allereerst, de begrippen remote sensing, monitoring met satellietdata, en Aardobservatie en worden vaak door elkaar gebruikt. Aardobservatie met satellieten is een vorm van remote sensing: 'waarnemen' (sensing) 'op afstand' (remote). Remote sensing kan ook plaatsvinden vanuit een vliegtuig ('airborne remote sensing'), een drone, of een camera of meetinstrument boven het wateroppervlak ('close range remote sensing'). Satellieten kunnen gebruikt worden voor van alles: communicatie, navigatie, onderzoek naar de achterkant van maan enzovoort. In dit geval kijken we specifiek naar de mogelijkheden van het gebruik van aardobservatiesatellieten voor het monitoren van waterkwaliteit.

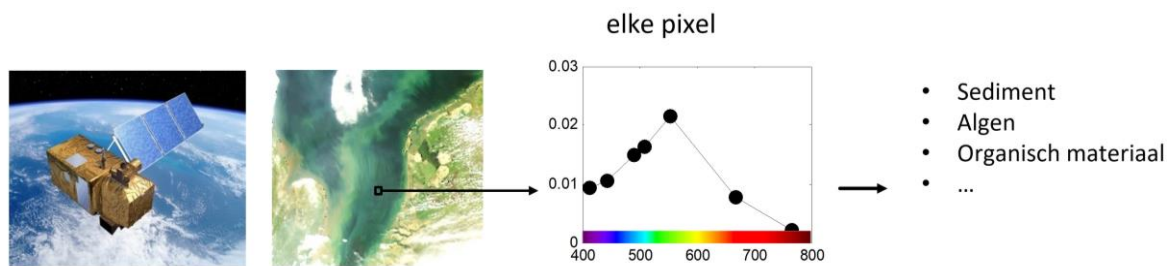


Figuur 1 Voorbeeld van een satellietbeeld zoals wordt gebruikt om waterkwaliteit af te leiden

2.2 Optische satellietbeelden

Voor het monitoren van waterkwaliteit worden beelden van optische satellieten gebruikt. Dit soort satellietbeelden zijn eigenlijk geavanceerde foto's vanuit de ruimte. Zonnestrallen die op de aarde vallen worden voor een deel opgenomen (geabsorbeerd) door het aardoppervlak, het water, de vegetatie, algen en zwevend stof. Wat niet wordt opgenomen, wordt gereflecteerd en (deels) teruggekaatst. Omdat algen veel blauw en rood licht opnemen voor hun energievoorziening zien ze er groen uit: alleen het groene licht wordt teruggekaatst. Dit teruggekaatste licht wordt geregistreerd door de satelliet. Satellieten slaan de informatie over de hoeveelheid van de verschillende teruggekaatste kleuren (rood, groen, blauw, infrarood) apart op, zodat er mee gerekend kan worden. Om bijvoorbeeld blauwalgen te kunnen onderscheiden van groenalgen is het

handig om meer tinten groen te kunnen onderscheiden. Veel satellieten registreren specifieke kleuren die geschikt zijn op bepaalde parameters af te leiden. Hoe meer van zulke 'spectrale banden' een satelliet heeft, hoe meer parameters er afgeleid kunnen worden.



Figuur 2 van satellietbeeld naar informatie: links een satelliet, daarnaast een satellietbeeld. Op elke pixel is informatie beschikbaar van de intensiteit van het licht op alle spectrale banden. Als je deze plot met op de x-as de golflengte en op de y-as de intensiteit krijg je een 'reflectiespectrum' zoals in het derde plaatje. Daaruit kunnen vervolgens, en dus voor elke pixel, parameters worden afgeleid.

2.3 Resolutie, voetafdruk en frequentie

Een aantal eigenschappen van satellietinstrumenten zijn erg belangrijk voor het gebruik en hangen ook enigszins samen: de resolutie (pixelgrootte), voetafdruk (het stuk aarde dat in 1x in beeld komt) en de frequentie (hoe vaak wordt een foto van dezelfde plek gemaakt). Deze eigenschappen hangen samen omdat er meestal een afweging wordt gemaakt op basis van hoeveelheid data, die kosten met zich meebrengen.

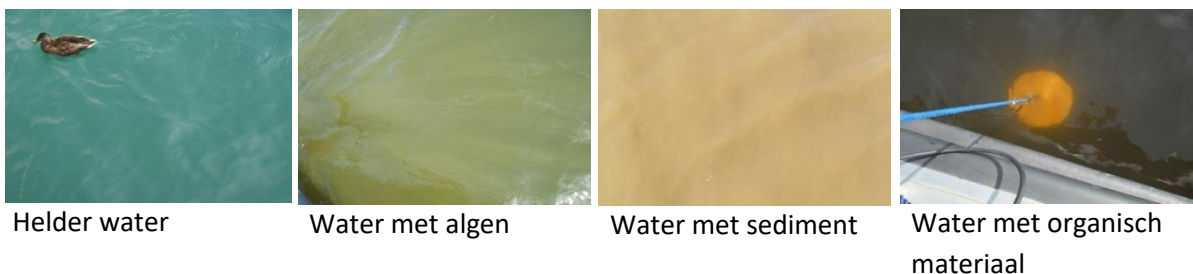
Hoe hoger de resolutie, hoe kleiner de pixels. Kleinere pixels zijn noodzakelijk om details te kunnen zien, en om bijvoorbeeld het wateroppervlak in sloten te kunnen onderscheiden. Kleinere pixels betekenen echter ook dat er om hetzelfde landoppervlak in kaart te brengen meer informatie is, meer data opgeslagen moet worden en naar aarde gestuurd moet worden. Beelden van satellieten met hogere resolutie zijn daarom meestal duur, en satellieten met heel hoge resolutie nemen niet continu op maar maken alleen een foto op aanvraag. Voor het monitoren van bijvoorbeeld kuststroken kan dus beter een satelliet met een lagere resolutie gebruikt worden: deze nemen meestal automatisch foto's, op hoge frequentie en de beelden zijn meestal gratis beschikbaar. Vanwege het kleinere bestandsformaat zijn ze ook nog eens makkelijker te bewerken en gebruiken.

De optische satellieten die geschikt zijn om waterkwaliteitsparameters te monitoren vliegen in cirkels om de aarde, van pool naar pool en schuiven steeds een stukje op, zodat na een aantal loopings de satelliet weer over hetzelfde stukje aarde vliegt en opnieuw een foto kan nemen van hetzelfde stukje land. De voetafdruk en de frequentie waarmee opnames van eenzelfde stukje aarde mogelijk zijn hangen daarom samen. Satellieten die een heel breed stuk land (honderden kilometers breed) tegelijk op de foto zetten, zoals Sentinel-3, kunnen elke dag een foto maken van heel Nederland. Satellieten met een heel kleine voetafdruk moeten heel veel rondjes om de aarde vliegen voor ze genoeg zijn opgeschoven om weer hetzelfde stukje aarde op de foto te kunnen zetten. Het kan daarom tot wel twee weken duren voor met zo'n satelliet weer een foto gemaakt kan worden van hetzelfde wateroppervlak (mits het niet bewolkt is). Voor monitoring van bijvoorbeeld een algenbloei is een hoge frequentie van groot belang, terwijl de frequentie voor het bestuderen van bijvoorbeeld het bewegen van wadplaten minder van belang is.

2.4 Bewerkingen

Er zijn altijd meerdere, soms bewerkelijke stappen nodig om van een satellietbeeld een kaart van een gewenste parameter te maken. Zo moet een satellietbeeld altijd gekalibreerd worden, er moet een geo-correctie worden uitgevoerd zodat het beeld op de juiste plek op de kaart valt en pixels met daarin bijvoorbeeld bewolking moeten weggefilterd worden. Voor het afleiden van parameters in de waterkolom is correctie voor de effecten van de atmosfeer essentieel omdat de informatie van de waterkolom slechts in 5-10% procent van het totale signaal zit. Water absorbeert namelijk het meeste invallend licht, daarom zijn waterpixels in een beeld meestal bijna zwart. De rest van het signaal boven water is vooral de invloed van de atmosfeer. Atmosferische correctie draagt ook bij aan het onderling vergelijkbaar maken van beelden die op verschillende momenten zijn opgenomen.

Na deze correcties volgen de verschillende modellen en/of algoritmen om de gewenste parameters af te leiden. Dit kunnen fysische modellen zijn (gebaseerd op natuurkundige kenmerken), empirische modellen (gebaseerd op expert knowledge en sets van satellietinformatie en in situ informatie) of neurale netwerken / machine learning / AI modellen (gebaseerd op grote sets van satellietinformatie en in situ informatie). De modellen zijn altijd gebaseerd op de gemeten reflecties op één of meerdere golflengten (Figuur 2). Welke spectrale banden gebruikt worden hangt af van welke parameter(s) berekend worden, want elke parameter heeft eigen, vaak specifieke eigenschappen die de kleur van het water beïnvloeden (zie Figuur 3).



Figuur 3. Voorbeelden van hoe de substanties in het water de kleur van het water beïnvloeden

2.5 Voor- en nadelen van satellietdata

Voordelen van satellietdata zijn:

- Gebiedsdekkend beeld
- Ook van lastig te bereiken locaties
- Snelle beschikbaarheid van het beeld en afgeleide informatie
- Objectief
- Satellietbeelden kunnen voor sommige parameters frequentere informatie leveren dan beschikbaar zijn via in situ methoden

Nadelen zijn:

- Bij bewolking is er geen optisch satellietbeeld
- De diepere waterlagen, grondwater en water onder bijvoorbeeld een viaduct zijn niet zichtbaar
- Parameters die kleurloos zijn kunnen met optische remote sensing niet in kaart worden gebracht (tenzij ze goed correleren met iets wat wel gemeten kan worden)

- Wateroppervlak dat te klein is voor de resolutie van de satelliet kan niet worden gemonitord

3 De (on)mogelijkheden van aardobservatie voor oppervlaktewaterkwaliteit

In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden van aardobservatie voor waterkwaliteitsmonitoring samengevat. Voor het overzicht van alle hier besproken parameters is Tabel 1 in Bijlage 1: Overzicht van mogelijke parameters opgesteld. Toepassingen gaan we meer op in in de hoofdstukken 4 en 6.

3.1 Parameters in de waterkolom

De ontwikkeling van het monitoren van parameters in de waterkolom (chlorofyl-a, zwevend stof, doorzicht of troebelheid, gekleurd opgelost organisch materieel, blauwalgpigment fycocyanine) is ver gevorderd: op mogelijke lokale tuning na zijn al deze parameters operationeel beschikbaar. Aan het afleiden van de 'basis' parameters die het grootste deel van de kleur van het water bepalen wordt al gewerkt sinds de lancering van de Coastal Zone Scanner (CZSC) in 1978. Deze parameters, fytoplankton (uitgedrukt in mg/l chlorofyl-a), zwevend stof en gekleurd opgelost organisch materiaal, worden door bio-optische modellen afgeleid uit het totaal gereflecteerde licht, maar er zijn ook neurale netwerken en vele verschillende empirische bandratioalgoritmen beschikbaar, elk getraind op specifieke concentratieranges of omstandigheden. Het blauwalgpigment fycocyanine absorbeert sterk op een specifieke golflengte (620 nm) en is daarom ook goed af te leiden, echter alleen van satellieten die de juiste spectraalband hebben.

Hoewel het voor remote sensing om de 'basis' parameters gaat, gaat het ook om een aantal van de meest belangrijke parameters voor het in kaart brengen van (de gezondheid van) ecosystemen en om het in kaart brengen van menselijke invloeden. Het gaat dan bijvoorbeeld om chlorofyl als maat voor eutrofiering, algen in de waterkolom in competitie met waterplanten, fycocyanine als maat voor blauwalgen en daarmee mogelijke toxines in het water, zwevend stof en troebelheid door baggeren of als input voor brononderzoek, en gereduceerde lichtdoorlatendheid door troebelheid met effecten op leven op de bodem. Zo beschrijven Blauw en Eleveld (2020) in een adviesrapport aan Rijkswaterstaat dat onder andere chlorofyl en zwevend stofconcentraties opgenomen zouden kunnen worden in een monitoringsprogramma voor de BES eilanden, voor het beter in kaart brengen van bronnen, met als einddoel het verbeteren van de ecologische gezondheid van de koraalriffen.

Gezien de hoge ontwikkelingsfase is te verwachten dat deze satellietkaarten van parameters operationeel beschikbaar zijn en worden aangeboden. Sommige zijn gratis te verkrijgen, beschikbaar gesteld onder langjarige overheidsfinanciering. Deze worden afgeleid met generieke algoritmen die globaal gezien goed werken (maar lokaal gezien niet altijd nauwkeurig zijn). Zo zijn wereldwijde producten voor chlorofyl, extinctie van licht, zwevend stof voor oceaan en zee beschikbaar via de NASA Ocean Color website¹ en zijn chlorofyl, troebelheid en de afgeleide trofische status in binnenwateren beschikbaar via de Copernicus Global Land Service²; ook services voor lokaal

¹ <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/products/>

² <https://land.copernicus.eu/global/content/algorithm-lwq-100m>

getunedede en gebruikersvriendelijke producten zijn commercieel beschikbaar via vele providers. Voor het monitoren van cyanobacteriën zijn vooral commerciële aanbieders te vinden.

Voor waterkwaliteit is (nog) geen algemene service binnen de gratis EU Copernicus services beschikbaar: meren vallen onder de Land Service, zee onder Marine en bijvoorbeeld rivieren missen nog. Het EU project Water-ForCE heeft "A Roadmap for the Future of Copernicus for Water" (Water-ForCE, DRAFT, 2023) geschreven om een goed inzicht te geven in de huidige status van de EU Copernicus waterkwaliteit diensten voor binnenwater en kustwater, de bottlenecks voor gebruik en scenario's en aanbevelingen voor toekomstige ontwikkelingen.

3.2 Afgeleide parameters of indicatoren in de waterkolom

Afgeleide parameters of indicatoren staan iets verder van de fundamentele remote sensing wetenschap met bio-optische modellen, waarmee de belangrijkste componenten in de waterkolom (paragraaf 3.1) berekend kunnen worden. Bij afgeleide parameters of indicatoren gaat het juist om parameters die dicht bij de gebruikers staan. De meeste zijn ingegeven door betrokken gebruikers in bijvoorbeeld EU projecten, waarbij onder andere bij waterbeheerders, mosseltelers, ecologen en modellers werd gevraagd welke informatie zij behoefte aan hebben en direct kunnen toepassen in voor hun werkzaamheden.

Een deel van deze parameters is dan ook alleen opgezet voor of getest in de gebieden van de betrokkenen (bijvoorbeeld biovolume van blauwalgen, fytoplankton celgrootte klassen, primaire productie en detectie van potentieel schadelijke algenbloei of 'HAB detectie'). Om deze parameters te kunnen afleiden in nieuwe gebieden is daarom altijd nog een lokale validatie en eventueel ook tuning nodig. Voor HAB detectie is kennis nodig is van de soorten die in een gebied kunnen voorkomen en onder welke omstandigheden bloeien ontstaan. Deze parameters zijn daarom niet compleet operationeel.

Andere parameters zijn veel directer gebouwd op een basis parameter (zoals het monitoren van pluimen door baggeren). Technisch is een pluim een verhoogde concentratie zwevend stof en zou de ontwikkeling dus parallel lopen aan het afleiden van zwevend stof kaarten. Bij deze parameter komen echter vragen naar boven die meer afhankelijk zijn van de gebruiker, zoals: hoeveel verhoging van zwevend stof wordt gezien als pluim? Wil de gebruiker werken met een kaart met de zwevend stof concentraties, met een *shapefile* met de omtrek van de pluim of moet het oppervlak van de pluim worden berekend? Eenzelfde soort vragen komen naar boven bij het detecteren van 'opwelling' events, fytoplankton bloei fenologie en de ecologische status van fytoplankton biomassa voor KRW rapportage (welke bijvoorbeeld gerapporteerd kan worden als één gemiddeld getal, een kaart, een histogram etc. Zowel Samarinas (2023) als Papatanaopoulou (2019) geven inzicht in de mogelijkheden en toegevoegde waarde van het gebruik van aardobservatie voor remote sensing, maar ook de beslissingen die hiervoor genomen zouden moeten worden.

Sommige parameters zijn wellicht relatief eenvoudig uit te rollen naar andere gebieden omdat er een eenduidige berekening voor is en zouden dus een ontwikkelingsfase van 3 kunnen hebben. Echter, omdat het afleiden van deze parameters uit aardobservatie pas relatief nieuw is werden er in de literatuur maar weinig voorbeelden gevonden. Voor deze parameters hebben we daarom ontwikkelfase 2 toegekend. Dit geldt voor de trofische status index, fytoplankton compositie (% blauwalgen), de voedselkwaliteit en -kwantiteit voor schelpdieren (input voor mosselgroeimodellen) en de leaf area index (een maat voor de gezondheid van planten).

3.3 Parameters aan het wateroppervlak

Voor de parameters aan het wateroppervlak zijn de verschillen in ontwikkelingsfase groter. Er zijn parameters die als 'standaardproduct' worden geleverd (zoals invallend licht³) of beschikbaar zijn via de wereldwijde portals, zoals oppervlaktewatertemperatuur via de NASA Ocean Color website. Andere zijn relatief eenvoudig door serviceproviders af te leiden via bekende indices, zoals voor de aan- of afwezigheid van vegetatie of voor de aan- of afwezigheid van water (bij overstromingen) en het monitoren van kustlijnen.

Het voorkomen van drijfvlagen (van blauwalgen) is op veel plaatsen in de wereld een probleem, detectie daarvan is dan ook goed ontwikkeld. Waterlelies zijn een groot probleem in het Victoriameer, en Sargassum is de afgelopen jaren een steeds groter probleem geworden in het Caraïbisch gebied, wat terug te zien is in de voortgang van de detectie van deze soorten met satellietbeelden. Voor Sargassum zijn er ook commerciële monitoringsservices (e.g. SAMtool⁴)

Het detecteren van drijfblad (een Nederlands begrip in de waterwereld voor gewenste soorten met grote bladeren, zoals Waterlelie), drijfalgendraden (bestaande uit een groep wieren die lange draden vormen), Kroos, Grote Waternavel en beschaduwing is vooral van belang in kleine binnenwateren. Omdat er nog niet zo lang satellieten beschikbaar zijn met pixels die klein genoeg zijn om ook in bijv. sloten en vaarten te kijken is de ontwikkeling van methoden om deze parameters te detecteren over het algemeen minder ver gevorderd. Wat hierbij ook speelt is dat de meeste satellieten met een hoge resolutie weinig spectraalbanden hebben, zodat detectie soms alleen mogelijk is als bekend is dat lokaal geen andere soorten voor bedekking zorgen.

Invallend licht en watertemperatuur horen tot de belangrijkste regulerende parameters voor leven onder water en als maat voor effecten van klimaatverandering. Informatie over (bedekking van) het wateroppervlak bevat ook belangrijke informatie over de gezondheid van aquatische ecosystemen. Zo zijn een aantal soorten vegetatie aan het oppervlak een indicatie van eutrofiering, en heeft een hoge bedekking van bijvoorbeeld kroos een negatief effect op het ecosysteem onder water omdat het al het licht wegneemt.

3.4 Waterbodem

De waterbodem, als een van de twee begrenzingen van de waterkolom, is in grote mate bepalend voor het type ecosysteem dat gevormd kan worden. Zo heeft de diepte een grote invloed op het beschikbare licht, warmt stilstaand ondiep water makkelijker op en bepalen het soort bodem en de aan- of afwezigheid van bodemvegetatie of er makkelijk opwervelingen van zwevend stof plaatsvinden. Zeegras en ondergedoken waterplanten worden gezien als indicatoren voor een gezond ecosysteem, koraalriffen zijn een ecosysteem op zich.

Echter, de mogelijkheden voor het monitoren van (parameters op) de waterbodem verschillen sterk per locatie. Water absorbeert licht sterk, daarom is het op een kilometer diep in de oceaan pikdonker. Ook van veel ondieper kaatst er echter al zo weinig licht terug uit het water dat het nog via de atmosfeer (die nog meer licht absorbeert) naar een satelliet kan reizen en binnen de

³ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci/level-2/par-products>

⁴ <https://datastore.cls.fr/products/samtool-sargassum-detection/>

detectielimiet valt. De diepste Secchi⁵ diepte ooit gemeten was 80 m diep, in het heldere oceaانwater van de Weddell zee, dat geeft een maat voor de diepste diepte waarvan een satelliet in theorie informatie zou kunnen krijgen.

De meeste zeeën en zeker binnenwateren zijn veel troebeler: Secchi diepten van bijvoorbeeld 2 meter tot 30 centimeter zijn in ondiepe meren geen uitzondering. De troebelheid van het water, de aanwezigheid van algen en zeker de aanwezigheid van drijvende vegetatie limiteert dus in sterke mate de mogelijkheden van het monitoren van parameters op of van de waterbodem. Daarnaast zijn satellieten met een hogere resolutie vaak minder gevoelig dan satellieten met grotere pixels. Daardoor kan het zijn dat het traceren van grootschalige patches vegetatie op een groot meer wel mogelijk is (met bijvoorbeeld de S2 satelliet), terwijl het traceren van kleinschaliger patches op een klein meer niet mogelijk is (met de SV satelliet), al zijn de meren even diep en even troebel.

Met inachtneming van bovenstaande beperkingen kunnen de volgende parameters worden afgeleid uit satellietbeelden: de ondergedoken waterplanten bedekking, waterdiepte / bathymetrie, koraalrif en koraalrif verbleking en zeegrasbedekking.

Andere parameters zijn niet van diepte afhankelijk, zoals welke wadplaten droogvallen en welke niet, de oppervlaktetemperatuur en het sediment type van drooggevallen wadplaten, de bentische biomassa op drooggevallen wadplaten en de bedekking van droogvallend zeegras.

3.5 In combinatie met modellen

We noemen hier enkele voorbeelden van vele soorten modellen waarvoor satellietbeelden van toegevoegde waarde zijn om de ruimtelijke verschillen beter te modelleren.

Drie belangrijke factoren voor groei van mosselen zijn de voedselkwaliteit, de voedselkwantiteit en watertemperatuur. Deze zijn allemaal af te leiden uit satellietbeelden. Mosselgroeipotentiemodellen (Poser et al., 2019, hfdstk. 7) kunnen daarom goed gebruik maken van satellietbeelden om de mosselgroei te voorspellen. Informatie van satellieten over de ruimtelijke spreiding over de verschillende percelen is daarbij van grote toegevoegde waarde.

De aan- en afwezigheid en de locatie van drijfslagen kan worden voorspeld met het model EWACS (Dionisio Pires et al., 2019). Dit modelleert de accumulatie van algen aan het oppervlak en de verspreiding en het uit elkaar vallen van drijfslagen gebaseerd op windsnelheid en -richting. Het kan satellietbeelden van chlorofylconcentraties en drijfslagen als input gebruiken voor de actuele situatie.

AlgaeRadar (Dionisio Pires et al., 2019) is een algengroeivoorspellingsmodel. Op dit moment gebruikt het optische puntmetingen als input, maar de bedoeling is dat het wordt uitgebreid naar vlakdekkende voorspellingen door het samen te voegen met EWACS en satellietbeelden als input te gebruiken.

3.6 Statistische informatie in tijd en ruimte

Eén van de voordelen van satellietdata is dat de ruwe data bewaard blijft. Daardoor is het mogelijk 'terug in de tijd' te kijken op plaatsen waar eerder nog geen monitoringsbehoefte was en dus geen

⁵ Een schijf die wordt neergelaten in het water om doorzicht te meten. De diepte waarop de schijf nog net te onderscheiden is, is de Secchi diepte

in situ metingen zijn uitgevoerd⁶. Zo kan bijvoorbeeld met terugwerkende kracht een baselinestudie of historische analyse worden uitgevoerd door bepaalde parameters te berekenen. Dit soort meerjarige informatie kan van belang zijn voor vraagstukken in ruimtelijke ordening. Op deze kaarten kan onder andere worden gezocht naar de meest geschikte locaties voor nieuwe windmolenparken (gezien de bio-fysische parameters), de beste locaties voor zwemstrandjes (waar historisch weinig blauwalgen voorkomen), de beste locaties voor mosselpercelen (met gemiddeld een goed voedselaanbod).

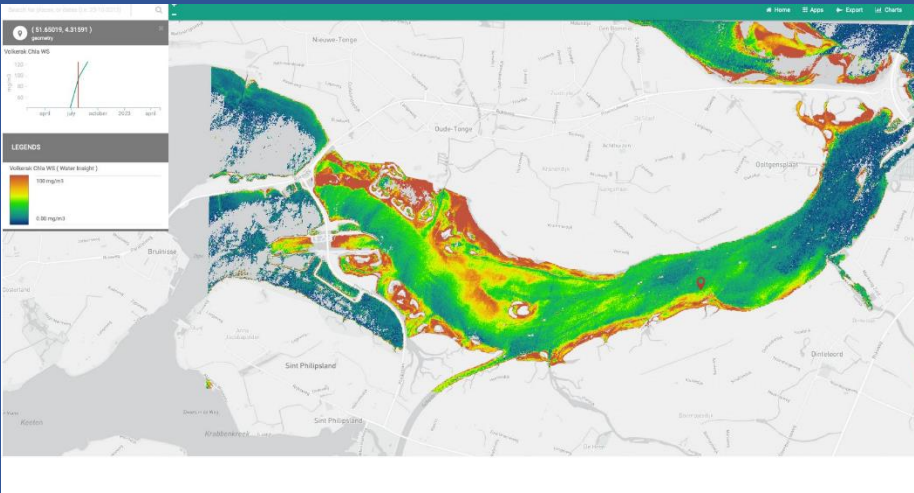
Verder kunnen natuurlijk vergelijkingen gemaakt worden tussen verschillende perioden om bijvoorbeeld de effecten van klimaatverandering, verdroging/vernatting, eutrofiering, peilbeheer en andere maatregelen te analyseren. Het voordeel van satellietdata is dat het relatief eenvoudig is om aan een langjarige dataserie te komen. Op deze manier kunnen ook tijdseries van kaarten gemaakt worden en er kunnen statistische analyses worden uitgevoerd.

4 Voorbeelden van het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit

De genoemde voorbeelden in dit hoofdstuk zijn allemaal gepresenteerd en besproken tijdens de Workshop. We hebben ons ook beperkt tot de meest voor de hand liggende toepassingen.

4.1 Voorbeeld (blauw)algen

Volgen van (blauw)algenbloei in het Volkerak met satellietbeelden en optisch in situ metingen



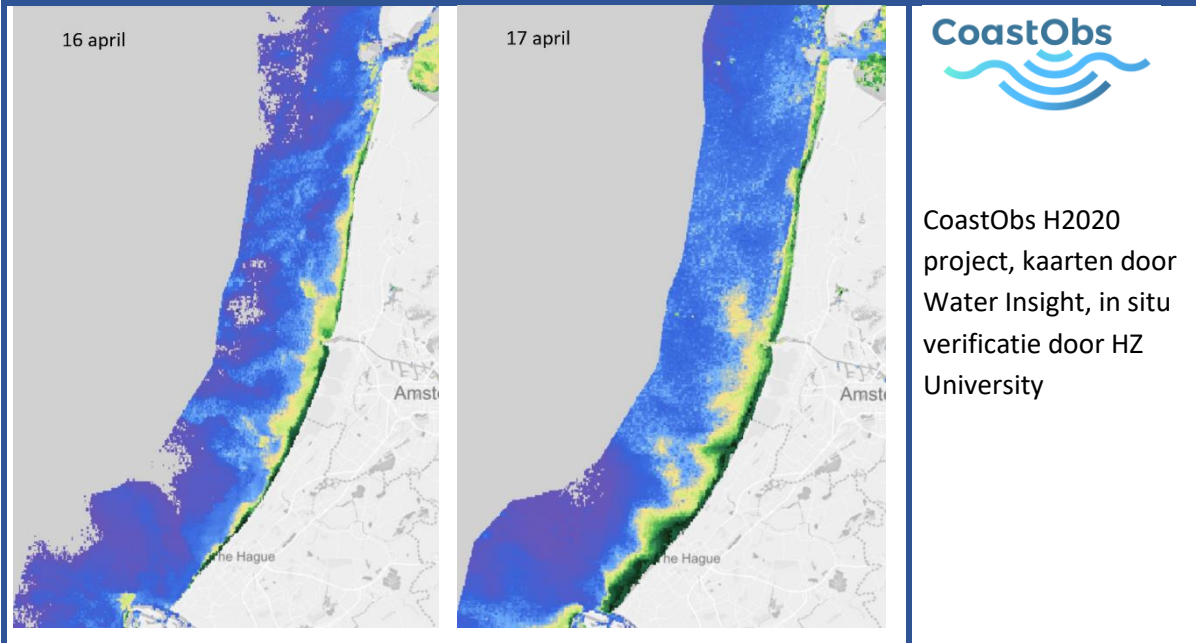
Doel: het volgen van de algenbloeien in het Volkerak om tijdig te kunnen waarschuwen, o.a. aan het haventje van Ooltgensplaat zodat ze tijdig kunnen schutten om te voorkomen dat er drijfslagen in de toeristenhavens komen. Er is ook gebruik van gemaakt door omliggende waterschappen die van het Volkerak afhankelijk zijn voor waterinlaat in droge perioden, maar liever geen blauwalgen inlaten. De kaarten laten Chl-a zien, gekalibreerd op optische in situ metingen. Er is gekozen voor Chl-a in plaats van blauwalgen (fyocyanine) omdat Chl-a geleverd

⁶ Let wel: dit werkt alleen met satellieten die altijd opnamen maken, zoals S2, S3, L8/L9. Voor satellieten waarbij opnamen moeten worden aangevraagd, zoals SV, PN, en WV zijn er alleen historische opnamen als iemand die opnamen had aangevraagd.

kan worden op een hogere resolutie (10 m), en blauwalgen zijn toch dominant in het Volkerak in de zomer.

4.2 Voorbeeld schadelijke algenbloei

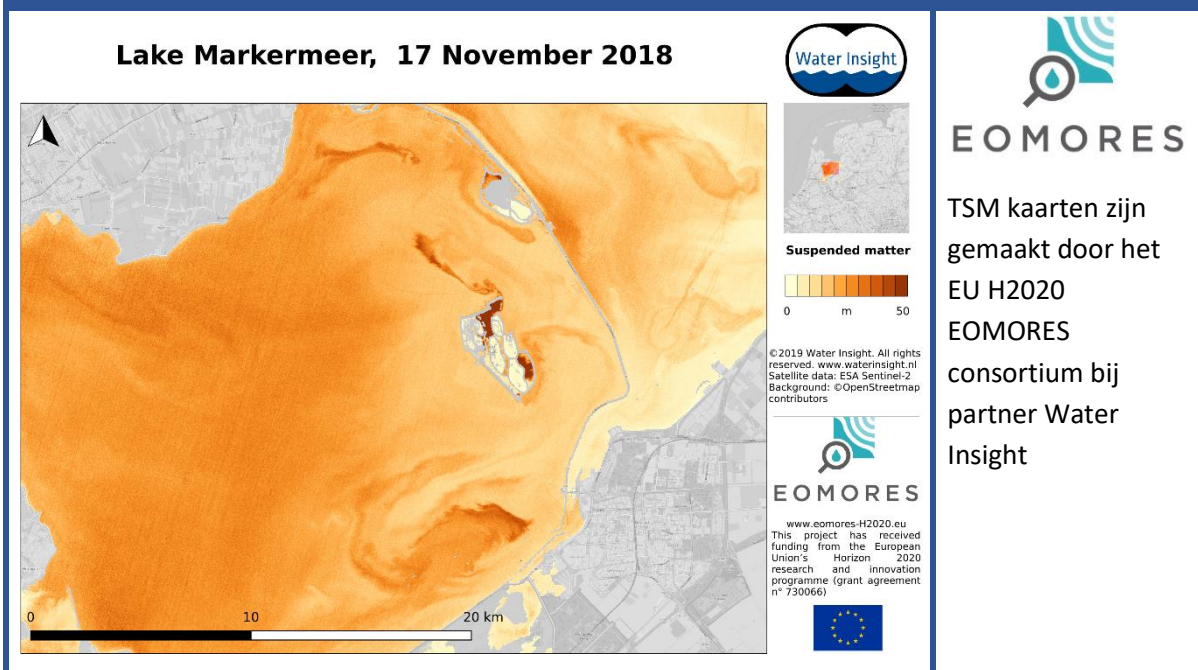
Phaeocystis waarschuwingsservice



Het CoastObs consortium volgde de intense *Phaeocystis* bloei in het voorjaar van 2020, als test voor een waarschuwingsservice voor schelpdiertelers in de Oosterschelde. Als grote hoeveelheden *Phaeocystis* afsterven kan op de bodem tijdens de afbraak zuurstofloosheid ontstaan, wat de complete oogst op die plaats kan vernietigen omdat de schelpdieren dan ook sterven. Bij tijdige waarschuwing zouden zij mogelijk eerder kunnen oogsten om dit te voorkomen. Gelukkig voor de mosseltelers volgde de *Phaeocystis* bloei de kust en kwam niet in de Oosterschelde terecht. Later kwamen surfers om het leven bij Scheveningen omdat ze in meters hoog schuim terechtgekomen waren. Dit schuim was een gevolg van de afstervende *Phaeocystis* bloei. Het volgen van *Phaeocystis* kan dus ook gebruikt worden voor een waarschuwing voor schuim. Lees meer in het gezamenlijke onderzoek onder leiding van het NIOZ (Philippart et al, 2020).

4.3 Voorbeeld baggerpluimen

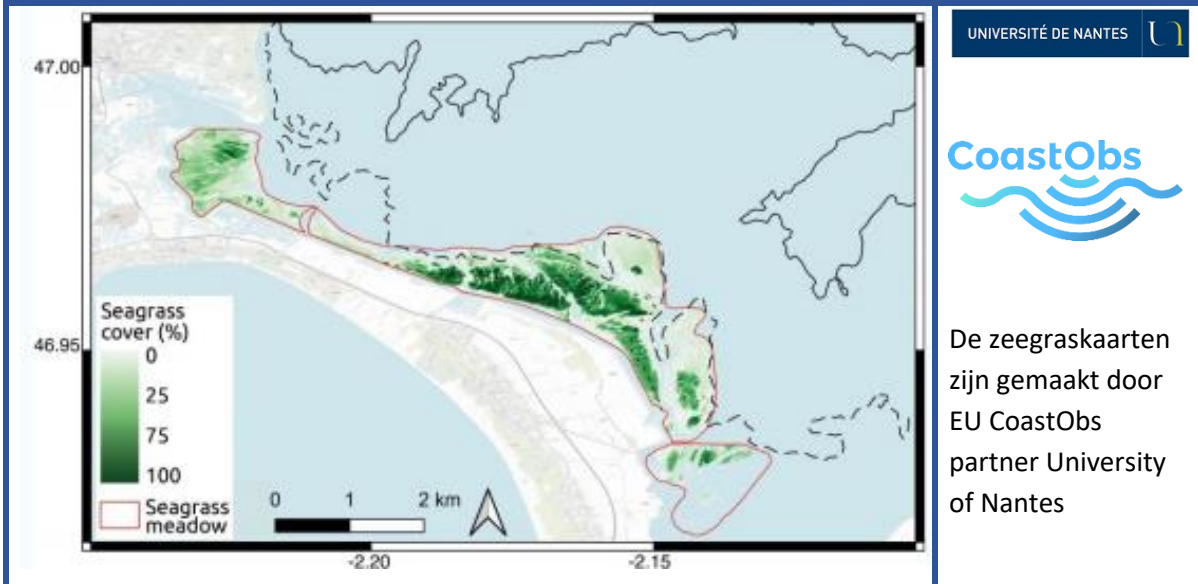
Volgen van baggerpluimen bij de aanleg van de MarkerWadden



De MarkerWadden werden aangelegd onder andere om de hoeveelheid zwevend stof in het Markermeer te verminderen. Tijdens de aanleg ontstonden echter ook pluimen met zwevend materiaal door baggerwerkzaamheden. Het EOMORES consortium volgde deze met kaarten gebaseerd op satellietbeelden. Er werd onder andere gekeken welke concentraties zwevend stof vrij kwamen en hoe lang de pluimen waren. De pluimen reikten een stuk verder dan verwacht, maar bleven onder de gestelde normen, en waren bovendien in dezelfde range als de concentraties die gezien werden na harde wind (baseline). Deze methode kan gebruikt worden voor baseline studies en het monitoren of baggerprojecten binnen de gestelde normen blijven.

4.4 Voorbeeld zeegras

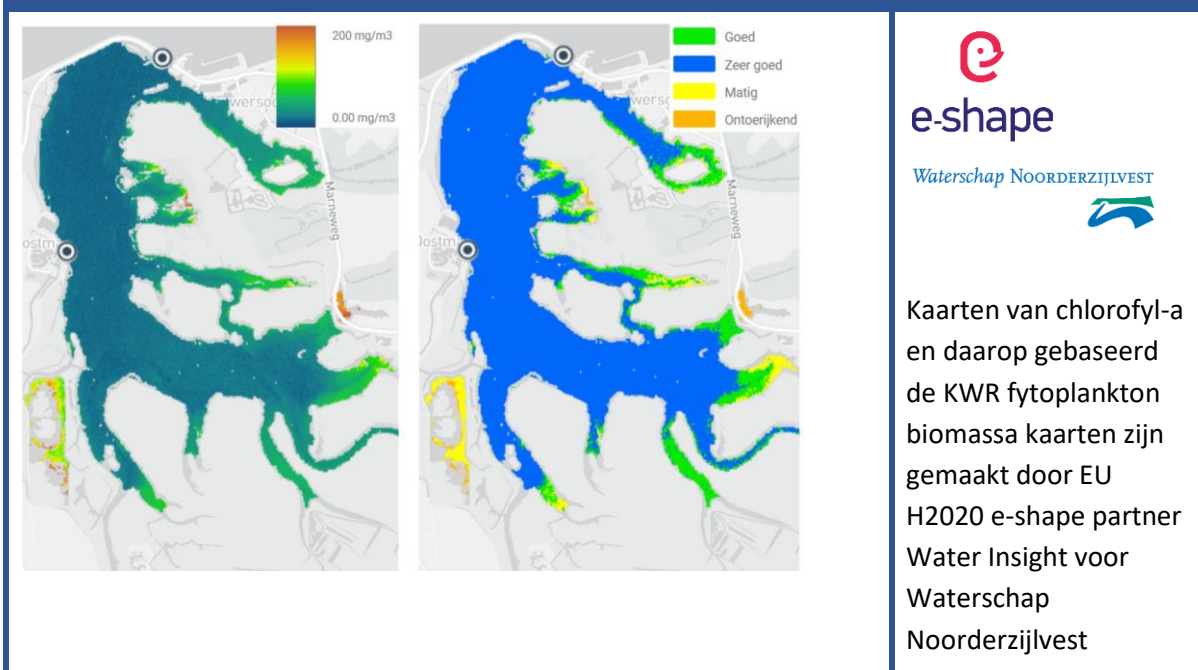
In kaart brengen van de jaarlijkse zeegrasbedekking aan de Franse kust



CoastObs bracht de verschillen in jaarlijkse bedekking met droogvallend zeegras in Bourgneuf Bay, Frankrijk, in kaart (Zoffoli et al, 2020). Zeegrassvelden zijn van groot ecologisch belang omdat ze schuil- en broedplaatsen bieden aan aquatische organismen, en bodemmateriaal vasthouden, waardoor het water niet troebel wordt. De bedekkingsgraad laat zien hoe goed het met het zeegrassveld gaat.

4.5 Voorbeeld Kaderrichtlijn Water

Pilot voor het gebruik van aardobservatie voor monitoring voor de Kaderrichtlijn Water



Kaarten van chlorofyl-a en daarop gebaseerd de KWR fytoplankton biomassa kaarten zijn gemaakt door EU H2020 e-shape partner Water Insight voor Waterschap Noorderzijlvest

Mag satellietdata gebruikt worden voor de Kaderrichtlijn Water (KRW)? Ja, de EU-richtlijn staat gebruik van aardobservatie niet in de weg, en ook de Nederlandse nationale richtlijn laat de te gebruiken methoden open. Finland gebruikt al aardobservatie data voor de KRW rapportage^{7, 8}, en ook in Ierland⁹ is men bezig met implementatie.

Om te kijken hoe aardobservatie in Nederland zou werken werden in een pilot met waterschap Noorderzijlvest in het EU e-shape project van 3 jaar (2019, 2020, 2021) kaarten van Chlorofyl-a van het Lauwersemeer gemaakt. Daarop werden de KRW klassegrenzen van fytoplankton biomassa toegepast om voorbeeld van kaarten voor de KRW te maken. Geïnteresseerden, ook van andere waterschappen, werden betrokken in een discussie over de bruikbaarheid van deze informatie. Vragen die opkwamen waren bijvoorbeeld: Kan je hiermee de representativiteit van de KRW meetpunten bekijken? Hoe goed zijn de concentraties uit de satellietbeelden? De representativiteit kan zeker vastgesteld worden, in de twee bovenstaande kaartjes zijn de twee zwarte punten de KRW monitoringspunten. Voor de kwaliteit werd een validatie ten opzichte van de metingen van Noorderzijlvest uitgevoerd met goede uitkomsten.

Ook werd besproken dat de KRW monitoring wordt gebruikt voor twee doelen:

1. Toestand vaststellen. Hiervoor worden in Nederland de methoden beschreven in het handboek Hydrobiologie, aardobservatie is hierin niet opgenomen. Het handboek is daarmee dus (voorlopig) strenger dan de KRW of nationale richtlijn (welke verwijst naar het Handboek).
2. Maatregelen nemen / evalueren. Hiervoor is inzicht in systeem nodig en aardobservatie creëert inzicht. Voor dit doel zou aardobservatie nu al goed gebruikt kunnen worden.

Eerder verscheen een White paper over het gebruik van aardobservatie voor de KRW, welke mogelijkheden, belemmeringen, voorbeelden en aanbevelingen bespreekt (Papathanasopoulou, et al. 2019).

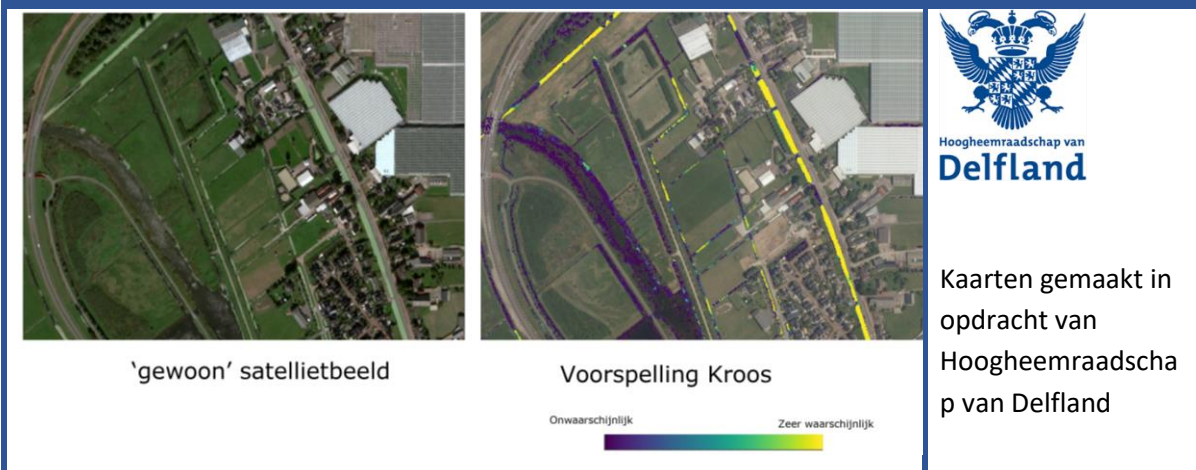
⁷ Een presentatie vanuit Finland (status 2019) <https://circabc.europa.eu/sd/a/a6292efc-bd96-40eb-894f-bb2a355f684e/WMD2019->

⁸ De Finse portal voor satellietdata voor waterkwaliteit <https://wwwi4.ymparisto.fi/i4/eng/tarkka/index.html?type=RGB&date=2023-06-28&datespan=1&name=DEFAULT&lang=en&zoom=5.31&lat=64.23000&lon=26.00000>

⁹ Iers nationaal project voor monitoring met aardobservatie: <https://infer.ichec.ie>

4.6 Voorbeeld kroos / vegetatie

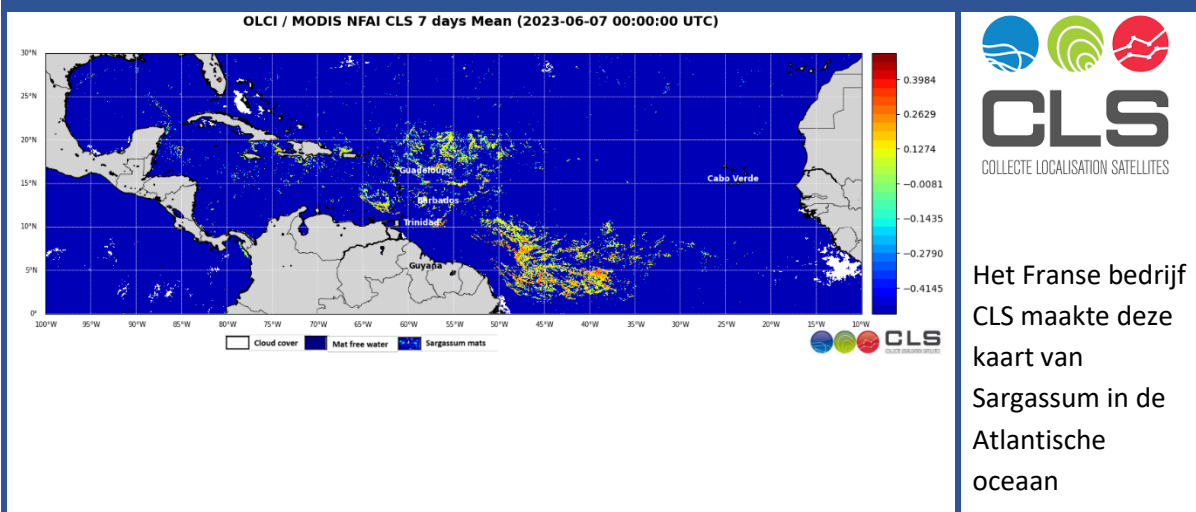
In kaart brengen van aquatische vegetatiegroepen



Hoogheemraadschap van Delfland (HHD) wil graag een gebiedsdekkend, objectief beeld krijgen van de ecologische waterkwaliteit. Niet alleen voor de waterkwaliteit, maar ook voor toezicht en handhaving, onderhoud en waterhuishouding. HHD heeft hier algoritmen voor laten ontwikkelen. Kroos, oevervegetatie en drijfblad blijken goed herkend te kunnen worden op een beeld van 2019. Dit geeft informatie geven over bijvoorbeeld kroosvorming op plaatsen waar het waterschap normaal niet snel zou komen. In een lopend project wordt nu onderzocht of de algoritmen die ontwikkeld zijn op één beeld ook toegepast kunnen worden op een nieuw beeld, en of de methoden operationeel gemaakt kunnen worden.

4.7 Voorbeeld Sargassum

Volgen van Sargassum op de Atlantische Oceaan als tijdige waarschuwing voor de toeristische industrie in de Caraïben



Sargassum komt van oorsprong vooral voor in de Sargassozee. De laatste jaren komt het echter in steeds grotere hoeveelheden in een veel groter gebied voor. De dichte matten drijvende vegetatie vormen problemen op de stranden waar ze aanspoelen: ecologisch gezien, bijvoorbeeld voor net uit het ei gekropen zeeschildpadjes die erin verstrikt raken, en ook voor de toeristische industrie, omdat de rottende resten op het strand niet gewaardeerd worden door toeristen. Als met behulp van satellietbeelden en kennis van oceaanstromingen voorspelt kan worden waar de Sargassum zal gaan aanspoelen, kan deze tijdig uit zee geogst worden en eventueel zelfs dienen als bijvoorbeeld biobrandstof.

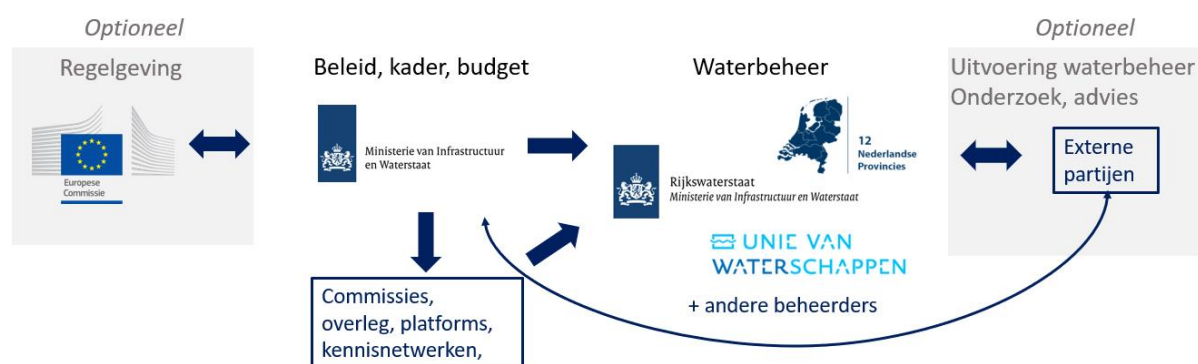
5 Vraagstukken met betrekking tot waterkwaliteitsmonitoring

Om inzicht te krijgen in concrete vraagstukken met betrekking tot waterkwaliteitsmonitoring die spelen bij lenW, en om inzicht te krijgen in de werkwijze, is een dubbelinterview gehouden met twee medewerkers (zie ook Bijlage 1: geïnterviewden en deelnemers workshop). Deze informatie is in dit hoofdstuk verwerkt. Er zal nog een interview gepland worden met medewerkers van de afdeling Caribisch Nederland.

5.1 Rol van lenW in organisatie van waterbeheer

5.1.1 Overzicht waterbeheer

Wat betreft vraagstukken, beleid en projecten op het gebied van waterkwaliteit is de rol van lenW vooral het vaststellen van het kader, het beleid en het budget. Hierbinnen wordt het beheer vervolgens uitgevoerd door Rijkswaterstaat (RWS) of een andere beheerder. Bijvoorbeeld voor uitvoering van de KRW geeft lenW geeft RWS elk jaar opdracht en budget om een monitoringsplan op te stellen en uit te voeren. Eventueel worden er externe partijen betrokken bij de uitvoering (Figuur 4).



Figuur 4 flowdiagram waterbeheer

Regelgeving of kaderrichtlijnen waar beleid op gebaseerd wordt zijn soms afkomstig van de EU, zoals de Bathing Water Directive (BWD), Marine Strategy Framework Directive (MSFD), en Water Framework Directive (WFD). Andersom is Nederland ook proactief richting de EU.

In veel gevallen stelt lenW een commissie, overleg of platform in als opdrachtgever. Deze stellen beleid vast en waterbeheerders voeren dat vervolgens uit. lenW stuurt actief in dit soort samenwerkingen die leiden tot de vaststelling, maar niet in de uitvoering.

Bij kleine vraagstukken of projecten kan lenW zelf een onderzoek of project uitvoeren of extern uitbesteden (dunne pijl). De controle van PFAS lozende bedrijven is een voorbeeld waar lenW rechtstreeks en buiten beleid/programma zelf een onderzoek heeft laten uitvoeren. Aanbestedingen voor grotere projecten doet lenW niet. Bij grote projecten die worden gefinancierd door lenW kan lenW wel altijd eisen stellen of adviseren.

lenW kan subsidies verstrekken voor bepaalde taken of onderwerpen. Deze subsidies komen vaak uit lopende programma's en budgetten. Een voorbeeld is het programma 'Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW)', een samenwerking van lenW en LNV, waaruit vorig jaar (2022) bijna 300 miljoen euro werd gereserveerd voor projecten ter verbetering van de waterkwaliteit in de grote

wateren. Zie ook Bijlage 3 voor voorbeelden van commissies en platforms op het gebied van waterkwaliteit.

5.1.2 Protocollen en uitvoeringsdocumenten

IenW is in principe bij alle protocollen en uitvoeringsdocumenten op het gebied van waterkwaliteit betrokken als sturende opdrachtgever. Een voorbeeld hiervan is het *“Protocol monitoring en toestandsbeoordeling oppervlaktewaterlichamen KRW”*. Zo is IenW ook betrokken als opdrachtgever bij het Blauwalgenprotocol / Zwemwaterprotocol. Binnenwater wordt gemonitord volgens de methoden zoals beschreven in het Handboek voor Hydrobiologie, uitgegeven door Stowa en geschreven in opdracht van IenW.

5.1.3 Data, informatieuitwisseling en datagedreven werken

Bij DGWB wordt voor zover bekend nu niet gebruikgemaakt van aardobservatie. Het is bij DGWB niet bekend of en voor welke doelen RWS, Provincies, Waterschappen of Gemeenten nu gebruik maken van aardobservatie.

Informatiehuis Water zou een goed platform zijn om monitoringsdata uit aardobservatie te delen, maar dat wordt nu nog niet gedaan. Satellietdata of daaruit afgeleide parameters worden nu niet centraal ontsloten.

Sinds kort is er vanuit de EU binnen DGWD de taak om het gebruik van EO-data te promoten. Ook is er een informatieadviseur aangesteld.

Toevoeging aan deze paragraaf

Tijdens de workshop, en naderhand via email contact met informatieadviseur E. Harthoorn (I-team, IenW) zijn de volgende details besproken met betrekking tot datagedreven werken bij IenW. De ambitie op dat gebied is te vinden in hoofdstuk 1, en er zijn inmiddels meerdere rapportages en aanbevelingen verschenen in het kader van deze ambitie:

- De *‘Wegwijzer datagedreven werken bij DGWB’* (Harthoorn en Ouwersloot, 2019), wat een goede leidraad is om ook het werken met satellietdata op te pakken.
- De *‘Quick Scan Datagedreven werken bij de Beleidskern IenW’*¹⁰ geeft een beeld van de huidige stand van zaken met betrekking tot datagedreven werken bij de beleidsDG’s en bedrijfsvoeringsdirecties CDIB en UDAC/IenE. De scan geeft een overzicht van goed practises en doet aanbevelingen voor het vervolg.
- Het onderzoeksrapport *“Verkenning satelliettoepassingen voor klimaatgerelateerde impacts en risico’s”*. In september 2023 wordt de managementsamenvatting verwacht, waarin de onderstaande vier vragen zullen worden beantwoord:
 - Waar liggen vanuit adaptatiebeleid behoeften aan indicatoren voor beoordeling van klimaatbestendigheid?
 - Welke kansrijke ontwikkelingen zien we aan de aanbodzijde van satellietinformatie. En in welke processen wordt dit al ingezet?

¹⁰ De Quick Scan kan op moment van schrijven niet extern gedeeld worden en was dus voor de schrijvers van dit rapport niet in te zien. Er wordt daarom in dit rapport niet verwezen naar adviezen uit de Quick Scan, alleen uit de Wegwijzer.

- Welke aanknopingspunten liggen er om dit vanuit satellietinformatie in te vullen?
- Welke concrete handvatten zijn er om verder te gaan met satellietinformatie voor monitoring van adaptatie?
- Een *Datavolwassenheidsscan DGWB*, door adviesbureau Berenschot. Het doorlichten van tien DGWB beleidprogramma's heeft als doel:
 - Inzicht krijgen in de stand van het datagedreven werken binnen de beleidsprogramma's van DGWB;
 - Delen van kennis en best practices zodat programma's en projecten binnen DGWB van elkaar kunnen leren in datagedreven werken en het toepassen van data en datatechnologie;

Het I-team van DGWB kan met de resultaten van de Datavolwassenheidsscan programma's gericht adviseren in de verdere ontwikkeling van datagedreven werken.

5.2 Onderwerpen met betrekking tot waterkwaliteit op de agenda van DGWB

DGWB houdt zich binnen het waterbeheer in principe met alle onderwerpen en typen water bezig, ook in Caribische Nederland. De nadruk ligt wel vaak op de grote wateren. In principe wordt alles gemonitord waar verplichtingen voor zijn, overal zijn methoden voor beschikbaar. Het gebruik van nieuwe, innovatieve monitoringsmethoden is dus vooral van belang als ze beter of efficiënter zijn, maar nieuwe methoden moeten altijd ingepast zijn in de gegeven kaders.

Bij DGWB staat monitoring in het kader van de KRW nu het hoogst op de agenda. Ook monitoring in verband met klimaatsverandering "water – bodem sturend" is van groot belang. Parameters uit satellietbeelden die hieraan kunnen bijdragen zijn bijvoorbeeld algenbloei (chlorofyl-a), zwevend stof of troebelheid en watertemperatuur.

Daarnaast staat (nieuwe) chemische stoffen ook (PFAS, plastics etc) hoog op de agenda. Het monitoren van slib in verband met de verspreiding van PFAS het monitoren van watertemperatuur voor het traceren van lozingen met satellietbeelden zouden hieraan bij kunnen dragen.

Veiligheid staat altijd op de agenda van DGWB. Hierbij gaat het om bijvoorbeeld het monitoren van zwemwater, detectie van muizen en het tijdig detecteren van grotere dichtheden aan zeeschuim. Andere parameters uit satellietbeelden die in het interview als 'interessant' werd aangemerkt is het monitoren van baggerpluimen in het kader van het effect op het milieu.

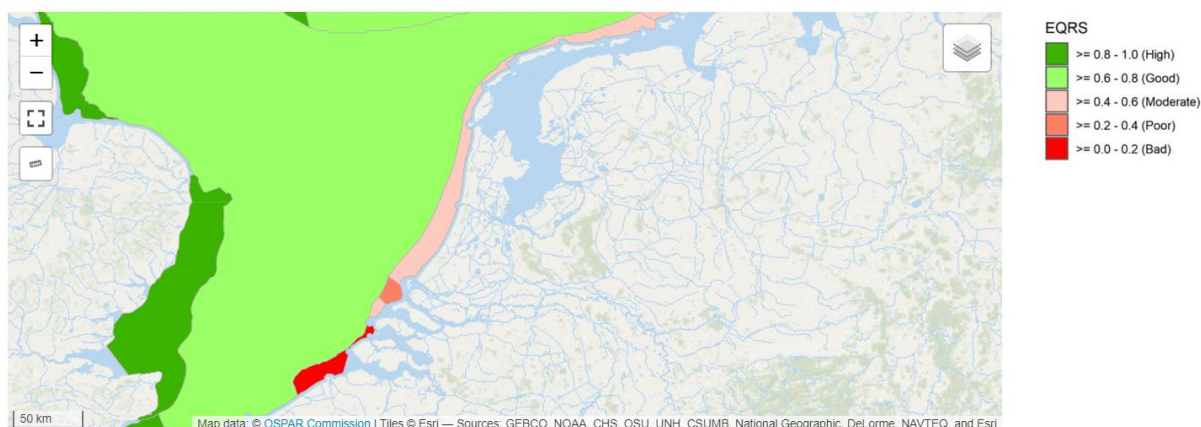
6 Uitkomsten workshop

De uitkomsten van de workshop met een groep betrokkenen wordt in dit hoofdstuk besproken (zie ook Bijlage 4: geïnterviewden en deelnemers workshop).

6.1 Gebruik van en initiatieven voor Aardobservatie voor waterkwaliteit in Nederland

Tijdens de workshop kwamen een aantal onderwerpen naar voren waar al gewerkt wordt met of aan waterkwaliteit met satellietdata. Deze vatten we hier kort samen.

6.1.1 OSPAR / KRM eutrofiëring status



Eutrofiëring werd per land met in situ metingen bepaald. De data waren niet vergelijkbaar: bij de landsgrenzen waren overgangen naar andere methoden te zien, en binnen landen was er ook vaak een bias met meer metingen langs de kust en zeer weinig bemonstering ver van de kust. Na een lang proces om een geharmoniseerde procedure vast te stellen wordt de eutrofiëring nu gebaseerd op satellietdata, waar eutrofiëring uit wordt afgeleid met een methode die geschikt is voor beelden van verschillende satellieten en voor verschillende 'watertypen', door te switchen tussen algoritmen en instellingen van deze. Binnen OSPAR worden daarnaast verschillende bronnen gecombineerd, zoals de satellietbeelden, data uit ferry box systemen (automatische meetunits op grote veerboten), boeien en in situ metingen. Er wordt ook internationaal overlegd over hoe deze combinaties precies moeten plaatsvinden.

Deze eutrofiëringinformatie wordt ook voor de Kaderrichtlijn Marien gebruikt. Op de OSPAR website worden de methoden en resultaten beschreven¹¹.

6.1.2 Roadshow bij waterschappen

**Organisatie Roadshow kick-off
SAT-WATER toepassingen
Binnen de verschillende
geledingen van NoorderZijlvest**

20 april 2023
van 11:00 tot 14:00



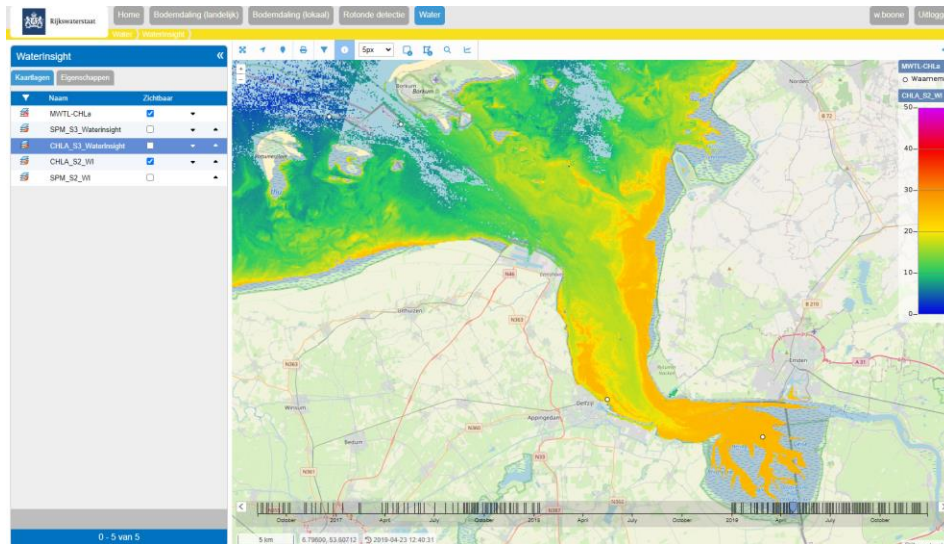



Stowa en SATwater organiseren vanaf april 2023 de 'Roadshow aardobservatie'. Het doel van deze Roadshow is om binnen waterschappen bekend te maken wat satellieten kunnen en wat er al beschikbaar is. Dit is erg breed, met alles wat interessant is voor waterschappen: waterkwaliteit,

¹¹ <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/chl-a-concentrations/>

hoogte (o.a. dijken), waterkwantiteit, verdamping etc. De Roadshow gaat naar elk waterschap dat interesse toont.

6.1.3 Remote sensing portal en veranderend monitoringsplan bij Rijkswaterstaat-CIV



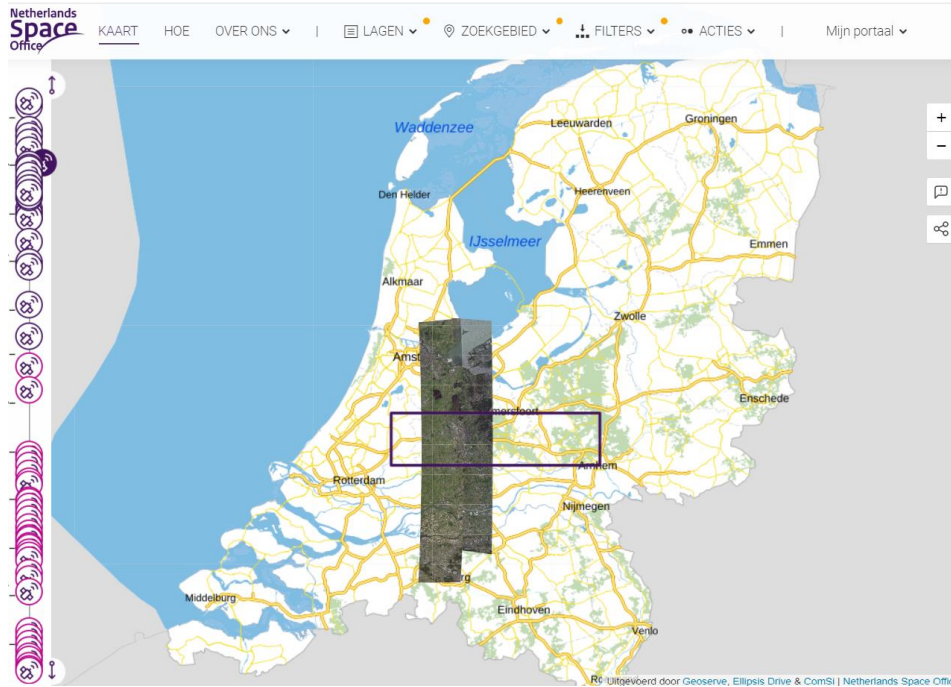
De remote sensing groep binnen RWS-CIV¹² houdt zich bezig met aardobservatie voor monitoring, onder andere van waterkwaliteit. Zij werken onder andere aan een centraal platform voor het ontsluiten van data- en informatieproducten die zijn afgeleid uit satellietbeelden. Een eerste versie van dit platform is inmiddels beschikbaar voor iedereen binnen RWS en IenW (stuur een email naar CIV als je toegang wil).

RWS-CIV gaat voor de Noordzee ook omschakelen naar een nieuwe manier van monitoring, die is gericht op het vergaren van in situ metingen tegelijk met de overkomst van een satelliet. Deze 'matchups' kunnen gebruikt worden voor kalibratie/validatie van de kaarten uit satellietbeelden, waardoor met een kleinere monitoringsinspanning meer kwalitatief goede informatie verzameld kan worden (voor een bepaalde set parameters).

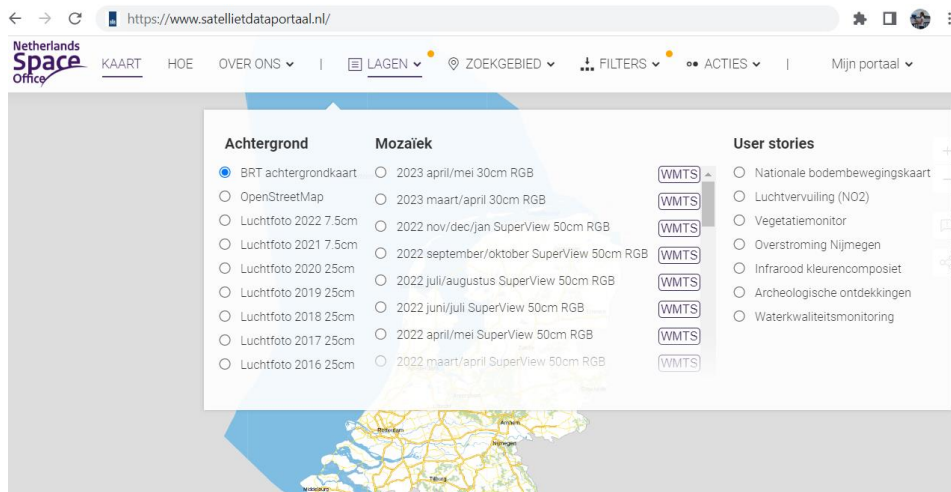
6.1.4 Satellietdataportaal NSO

NSO koopt al jaren centraal beelden van hoge resolutie satellieten in: een aantal keren per jaar landsdekkend. De beelden zijn gratis toegankelijk voor iedereen via www.satellietdataportaal.nl. Veel bedrijven maken gebruik van deze beelden om informatieproducten uit af te leiden als service, maar ook onderzoekers maken er gebruik van.

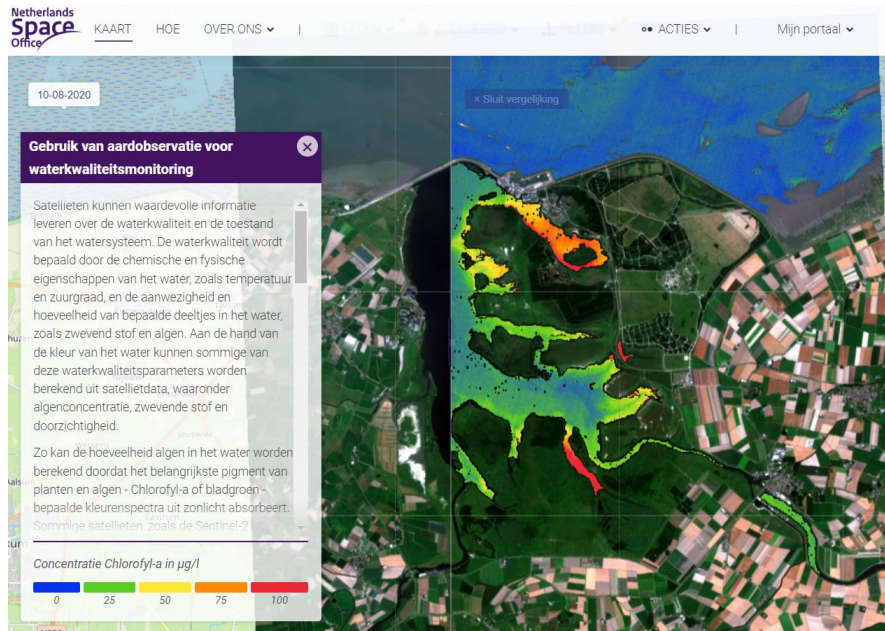
¹² <https://www.magazinesrijkswaterstaat.nl/zakelijkeninnovatie/2021/02/satellietmonitoring>



Klik onder 'lagen' op 'User stories' voor een aantal voorbeelden van toepassingen.



Eén van de getoonde toepassingen is waterkwaliteitsmonitoring.



Een gedetailleerde uitleg van de beschikbare satellietbeelden is te vinden op www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal.

6.1.5 Voorbeelden van andere diensten relaterend aan water, gebaseerd op Aardobservatie, in Nederland

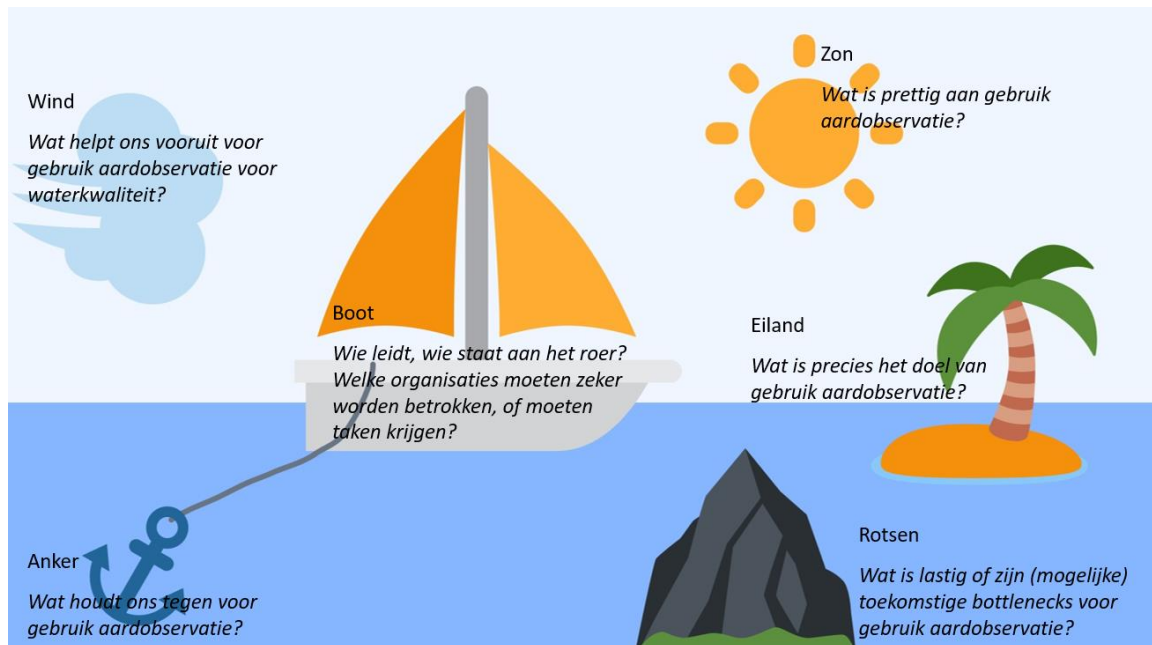
Verdampingsdata uit satellietbeelden wordt al ingekocht door de gezamenlijk waterschappen. Voor meer informatie en toegang zie het Waterschapshuis: www.hetwaterschapshuis.nl/verdamping-satdata-30.

Jaarlijkse luchtfotografie van Nederland. Voor meer informatie en toegang zie het Kadaster: www.kadaster.nl/-/mozaiek-van-nederland-dankzij-jaarlijkse-luchtfoto-s.

De SBIR project NL veranderdetectie richt zich op het gebruik van satellietbeelden voor het detecteren van veranderingen in de ruimtelijke indeling. Fase 3 is ingezet, een commerciële aanbesteding loopt. Voor meer informatie zie de website van NL veranderdetectie: www.nlveranderdetectie.nl.

6.2 Visie van de deelnemers van de workshop

Op de workshop werd op een 'scrum review' manier gekeken naar wat ons vooruit helpt of juist tegenhoudt voor het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteitsmonitoring, wat is prettig aan het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit en wat zijn mogelijke obstakels? En wat is het doel en wiens verantwoordelijkheid is het, wie staat aan het roer?



Hieronder samengevat de conclusies van de gegeven antwoorden en enkele uitkomsten uit discussies tijdens de workshop.

6.2.1 Wat helpt ons vooruit voor gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit?

Wat al zeer positief is:

- Door onder andere deze workshop toont DGWB ambitie. Reacties zijn heel positief: “Heel blij met het initiatief” “Fijn dan DGWB dit doet” “Inspirerend”
- Er is geld voor pilots binnen IenW: 30K per project

Men noemt vooral ook punten die (deels) nog niet voor elkaar zijn maar het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit vooruit zouden kunnen helpen als het wel geregeld was. Dit zijn dus typisch de punten om aan te werken omdat ze het proces zouden kunnen versnellen:

- Goede, en door stakeholders vertrouwde voorbeelden van toepassingen
- Betrouwbare data, gevalideerde producten
- Beschikbaarheid van aardobservatie data, liefst ‘gratis’ en voor alle EU landen beschikbaar
- Een goed verhaal om anderen, o.a. bestuurders, mee te nemen
- Bekendheid met satellietdata en de mogelijkheden, kennisdeling en opleiding gebruikers
- Regelgeving moet integraal op elkaar worden afgestemd
- Budget en prioriteit van onze bestuurders
- Vanuit het beleid moet er een opdracht zijn om satellietdata te gebruiken, ook een samenwerkingsopdracht met in situ laboratoria
- Er moet ook een duidelijk doel zijn voor het gebruik

Wat er verder uit de discussies naar boven komt is dat het belang van satellietdata steeds groter wordt, onder andere door datagedreven werken, zie ook paragraaf 5.1.3. Een suggestie is om het onderzoeksrapport “Verkenning satelliettoepassingen voor klimaatgerelateerde impacts en risico’s” (paragraaf 5.1.3) op een hoger/breder niveau te bespreken. Aandacht hiervoor kan gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit ook verder helpen.

6.2.2 Wat houdt ons tegen voor gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit?

Dit zijn items die opgelost moeten worden.

- Vasthouden aan in situ data, ook omdat het hele beoordelingssysteem daarop gebaseerd is
- Wijzigen van meetstandaarden en regelgeving / wetgeving
- Vergelijkbaarheid met data afgelopen jaren
- Te weinig vertrouwen in innovatieve data
- Bekendheid/onwetendheid met mogelijkheden
- (Bang voor) complexe data
- Afgesloten data ecosystemen (en nog niet FAIR)
- Monitoring is geen doel op zich, er moet een duidelijk doel zijn om aardobservatie te gaan gebruiken
- Niet echt willen weten wat de waterkwaliteit is.

De uitdaging wordt mensen, ook in de hogere lagen van de organisatie, te overtuigen. Mensen kunnen het best warm gemaakt worden door interesse te wekken. Er wordt onder andere binnenkort door IenW met NSO een hackaton te georganiseerd waarbij de challenges worden opgehaald bij IenW.

6.2.3 Wat is prettig aan gebruik aardobservatie?

Dit zijn de voordelen, de redenen om aardobservatie te gaan gebruiken.

- Efficiënte manier van meten, kan volledig geautomatiseerd worden
- Makkelijk te organiseren
- Ruimtelijk beeld geeft mooie aanvullingen op puntmetingen, overzichtelijk
- Door meer data krijg je meer inzichten, o.a. voor trendanalyses
- Plaatjes spreken aan
- Resultaten zijn snel beschikbaar, daardoor kan je snel handelen
- Makkelijk om aan data te komen over (lands)grenzen heen
- Aardobservatie data zijn 'goedkoop' (satelliet zelf is betaald door de EU) en 'altijd' beschikbaar
- Interactie met artificial intelligence (AI) en andere innovaties goed mogelijk
- Meten op landelijk niveau, niet op waterbeheerniveau. Nu hebben alle waterbeheerders hun eigen programma dat ze moeten regelen. Als je dit praktisch binnenhalen van gegevens landelijk doet blijft er voor de waterbeheerders meer tijd over voor analyse en om er iets mee te doen. Dit is een voordeel, maar het landelijk regelen kan ook een lastig punt zijn.
- Wat nu kan met AO kan in de toekomst beter en sneller. Ook: als je nu niet instapt kan je later inkopen in het buitenland want dan is alles ontwikkeld. Maar dan heb je zelf geen kennis opgedaan en blijf je afhankelijk.
- Schaalbaar met quantum

6.2.4 Wat is lastig of zijn (mogelijke) toekomstige bottlenecks voor gebruik aardobservatie?

Hier moet rekening mee gehouden worden wanneer gewerkt wordt aan operationele toepassingen:

- Bundelen en/of toegankelijk maken van de informatie
- Complexiteit van de hoeveelheid data: een duidelijk doel kan hier helpen
- Methodes voor de verzameling en/of het gebruik van satelliet data komen niet overeen, methoden zijn nog niet geharmoniseerd. Inter-kalibratie tussen landen en/of methodes ontbreekt. Daardoor is een vergelijking niet [altijd] mogelijk
- Limieten van wat satellieten kunnen observeren (grenzen aan meetmogelijkheden) [bijvoorbeeld in de diepte, of parameters die niet gemeten kunnen worden]
- Concurrentie tussen EO data aanbieders / ruzie tussen landen [sommige landen promoten hun eigen aanbieders of willen de door hen gebruikte methode als standaard vaststellen]
- De energie die de informatiesystemen kosten. Opslag/servers etc kosten veel stroom.

“Satellietdata zijn heel mooi, kan je er de echte dynamiek mee vangen”

Deelnemer workshop

Een nieuwe methode vraagt om een andere manier van denken over monitoring plannen, een andere manier van werken, van dataopslag etc. Om gebruik te maken van de ruimtelijke informatie moet er ook op een andere manier gewerkt worden. Wil men bijvoorbeeld monsters gaan nemen op de plaatsen waar op de satellietkaart iets uitzonderlijks te zien is dan moet niet de normale monsternameroute gevolgd worden. Daarbij zijn bijvoorbeeld waterkwaliteitsdatabasesystemen zijn gebouwd op opslag van puntdata van monsterpunten: ruimtelijke kaarten uit satellieten passen hier niet altijd goed in.

Het zou goed zijn om methoden ook op Europees niveau samen vast te stellen. Met inter-kalibraties tussen laboratoria blijkt al dat zelfs labs die dezelfde protocollen hanteren toch andere concentraties meten. Voor satellietdata zijn er op dit moment nog geen gezamenlijke protocollen. Net als met in situ metingen is het soms lastig deze te harmoniseren, omdat het per situatie anders moet: sommige algoritmen werken beter in troebel water, andere werken beter in helder water. EcoStat zal een belangrijke rol moeten spelen in het gelijktrekken van methoden tussen landen. Dit is ook een aanbeveling uit de White paper van Papathanasopoulou et al. (2019).

6.2.5 Wat is precies het doel van gebruik aardobservatie?

Zoals hierboven al genoemd werd: monitoring is geen doel op zich. Als het doel duidelijk is, is het ook makkelijker hiernaar te streven en de voorwaarden te scheppen. Deelnemers zagen duidelijke (en verschillende) doelen voor zich.

Sommige zagen een specifieke toepassing voor zich:

- Bauwalgen monitoren meer real time
- KRW trend- en toestandmonitoring, KRW onderzoeksmonitoring
- Joint fact finding KRW
- Gemeenschappelijke dataset voor coherente beoordeling/ rapportage (EU richtlijnen)
- Koelwaterbeleid: opwarming temperatuur oppervlaktewater in relatie tot (vergunningen voor) lozingen

- Hittestress (in ondiepten)

Sommige onderwerpen werden iets algemener geformuleerd:

- Klimaatadaptatie en -mitigatie
- Beleidsdoelen monitoren. Monitoren van effecten van beleid.
- Internationale samenwerking
- Kennis van geofysische processen (evt ook effect van menselijke invloed)
- Milieubescherming
- Verbetering kwaliteit van leefomgeving
- Duurzame voedselvoorziening

In sommige gevallen werd een van de voordelen van aardobservatie genoemd als doel voor toepassing:

- Voor variabele parameters: vlakdekkende hoge resolutie in tijd en ruimte data -> ecosysteem begrip
- Hoogfrequent – beter inzicht
- Minder in situ meten
- Geld besparen

We praten er ook over dat vaak niet alle data voor iedereen handig bereikbaar is. Een deelnemer stelt dat er soms bijvoorbeeld voor vergunningen te weinig duidelijk is over wat er allemaal in die omgeving is of plaatsvindt (bijvoorbeeld baggeren, mosselbanken) om goede besluiten te kunnen nemen. Wellicht kunnen satellietdata helpen om duidelijk inzicht in ruimtelijke aspecten te krijgen.

Het lijkt erop dat er (nog) geen duidelijke consensus is over een of meerdere concrete doelen, hoewel toepassingen voor de KRW en watertemperatuur (koelwater en/of hittestress) bovenaan de wensenlijst staan.

6.2.6 Wie leidt, wie staat aan het roer?

Welke organisaties moeten zeker worden betrokken, of moeten taken krijgen?

Het meest werden IenW en/of een van de afdelingen binnen IenW genoemd:

- Beleid (policy push) / IenW voor kaders.
- IenW geeft beleidsopdracht, maar we werken samen en bundelen/stimuleren initiatieven
- DGWB als opdrachtgever: voor RWS is het nodig dat het beleid zegt dat het nodig is
- DGMI voor beleidsmatige steun van DGWB
- DBRK (informatiebeleid DGWB)
- RWS Centrale Informatie Voorziening
- Ook werden enkele namen genoemd van personen binnen IenW en RWS, die we niet in dit rapport noemen maar bij de opstellers van dit rapport bekend zijn.

Daarna volgden waterbeheerders en Stowa:

- Stowa
- Monitoring managers
- Waterbeheerder: vooral de uitvoerbaarheid

Wat verder werd genoemd:

- EU. Het is van belang om hieraan te werken in connectie met EC (e.g. bij Green Deal, natuurherstelwet etc) voor meerwaarde
- Data providers, ookwel 'downstream service providers'

Zoals één deelnemer het formuleerde: "Het voortouw rol ligt bij overheid (in overleg met markt, NGOs etc) maar één (groep) partij(en) moet integrale visie oppakken". Uit de antwoorden hierboven blijkt dat lenW door de meeste deelnemers wordt gezien als de partij die de integrale visie moet gaan ontwikkelen. Een deelnemer van RWS-CIV geeft aan dat de bouwstenen (de portal) klaar zijn, en dat CIV een opdracht nodig heeft om hiermee verder te kunnen. Regionale afdelingen hebben ook vaak niet genoeg budget.

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat moet de lange termijnvisie voor de ruimtevaart opstellen. Daar moet lenW aan bijdragen.

7 Aanbevelingen voor het gebruik van aardobservatie voor lenW

7.1 Algemeen

De meeste deelnemers het erover eens dat het voortouw nemen voor het gebruik van satellietdata voor waterkwaliteit bij overheid ligt, in overleg met onder andere de markt, NGOs, EU etc. Verder worden de volgende aanbevelingen genoemd:

1. lenW moet sturend zijn in het proces

Er moet een integrale visie worden gevormd, kaders moeten worden opgesteld en een beleidsopdracht geformuleerd. Hieronder valt ook een bijdrage aan de langetermijnvisie voor de ruimtevaart van EZK.

Wat er volgens deelnemers moet gebeuren om vooruit te komen met het gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit is:

2. Er moet een duidelijk doel zijn

Maar, meerdere deelnemers hebben nog geen ervaring met werken met satellietbeelden, zodat een aantal pilots wellicht kunnen helpen om meer grip op de mogelijkheden en daarmee op doelen kunnen geven. Dit sluit aan bij de volgende genoemde behoefte:

3. Het doel moet concreet gemaakt worden. Hoe kan de satellietinformatie worden ingezet in beleid?

Deze twee eerste stappen sluiten ook direct aan bij de eerste twee stappen (*1-Beleidsvraag en 2-Inspiratie*) van de 'Wegwijzer datagedreven werken bij DGWB' (Harthoorn en Ouwersloot, 2019).

Voor mogelijkheden en voorbeelden ter inspiratie kan men bijvoorbeeld kijken

- in hoofdstukken 2 en 3 van dit rapport,
- in hoofdstuk 3 van de Wegwijzer datagedreven werken,
- in de 'Lagen > User stories' op het Satellietdataportal¹³,

¹³ www.satellietdataportal.nl

- op EOWiki onder succes stories¹⁴,
- op EOMall¹⁵,
- bij e-shape success stories¹⁶, en
- op het Horizon Results platform¹⁷ (bijv. zoeken op ‘water quality’).

Daarnaast is er, zoals genoemd in 6.2.1 geld voor eigen pilots binnen IenW.

De voorbeelden en pilots kunnen ook gebruikt worden om anderen binnen de organisatie mee te nemen. Meerdere keren werd genoemd: ‘Het moet overtuigend zijn’. Een suggestie is ook om het onderzoeksrapport “*Verkenning satelliettoepassingen voor klimaatgerelateerde impacts en risico’s*” (paragraaf 5.1.3) op een hoger/breder niveau te bespreken. Aandacht hiervoor kan gebruik van aardobservatie voor waterkwaliteit ook verder helpen.

Als er besloten is wat het doel is en hoe satellietdata precies in gezet zal worden moet er duidelijkheid zijn over de opzet en financiering:

4. Er moet duidelijkheid zijn over wie verantwoordelijk is voor de uitvoering en waar het budget vandaan komt.

Vanuit RWS werd dit geformuleerd als ‘hoe dit omgezet kan worden in opdracht voor RWS’. Zoals beschreven in paragraaf 5.1.1 kan RWS (een deel van) een opdracht vervolgens weer uitzetten bij commissies en externe partijen.

Stappen voor de uitvoerder staan in de ‘Wegwijzer datagedreven werken’ als *3-Inventarisatie data, 4- Data analyse, 5-Data resultaten*. Uit de inventarisatie kan eventueel ook blijken dat er data mist, waarop deze gecreëerd kan worden door een uitvoerder of service leverancier.

Bij dit alles is het van belang om samen te werken:

5. De internationale context moet worden meegenomen (o.a. EcoStat) en bij voorkeur wordt er samengewerkt

Samenwerking en overleg is onder andere nodig om protocollen en methoden te harmoniseren, en een nieuwe manier van werken te implementeren op een manier die geschikt is voor alle betrokkenen.

7.2 Concrete mogelijke pilots vanuit IenW

Bouwend op de aanbevelingen uit sectie 7.1 worden hier enkele mogelijkheden voor pilots op een rij gezet waarin IenW sturend kan zijn, en er een concreet doel is. De financiering voor de pilots zou kunnen komen uit het budget voor pilots van IenW. In de pilots moet naast het uitvoeren van een technische demonstratie ook worden uitgezocht hoe de verantwoordelijkheden voor een vervolg en eventuele inkadering in beleid moeten worden vormgegeven.

Opstellen en evalueren van maatregelen voor de Kaderrichtlijn water

¹⁴ <https://earsc-portal.eu/display/EOWiki/EO+in+Action>

¹⁵ <https://eomall.eu/galleries>

¹⁶ <https://e-shape.eu/index.php/success-stories>

¹⁷ <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/horizon-results-platform>

Op dit moment is voor rapportage binnen de regelgeving van de KRW nog geen ruimte voor het gebruik van aardobservatie (zie ook sectie 4.5). Aardobservatie kan echter wel gebruikt worden als input voor het opstellen van maatregelen en ter evaluatie van de resultaten. In combinatie met aardobservatie kan een veel gedetailleerder inzicht verkregen worden van de processen in een waterlichaam dan alleen met in situ metingen. Voor het nemen van grotere, ingrijpendere maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit is het van belang een zo goed mogelijk inzicht te krijgen in de processen die leiden tot de mindere waterkwaliteit, zodat de maatregelen gericht genomen kunnen worden om een zo groot mogelijke effectiviteit te verkrijgen. Voorbeelden zijn het al dan niet binnenlaten van zout water in het Lauwersmeer en Grevelingen en het koppelen van de Oostvaardersplassen met het Markermeer. IenW zou een pilot voor het gebruik van aardobservatie voor het verkrijgen van meer inzicht en het na afloop evalueren van de effectiviteit van de maatregel kunnen uitzetten of stimuleren.

Beleid voor zandwinning in het IJsselmeergebied

In het Markermeer bleek uit satellietbeelden tijdens de aanleg van de MarkerWadden dat de baggerpluimen een stuk langer waren dan verwacht. Na het graven van diepe putten bleek ook dat er veel nutriënten met het sediment naar de bodem zakken in de putten en niet opnieuw in de circulatie komen. Hierdoor loopt de primaire productie, die aan de basis ligt voor het hele ecosysteem, in het Markermeer terug. IenW stelt op dit moment beleid op voor zandwinning in het IJsselmeergebied. Het beleid kan een verplichte monitoring en eventuele bijsturing aan de hand daarvan bevatten. Monitoring met behulp van satellietbeelden zou van pas komen ter vergroting van de kennis van de mogelijke effecten van zandwinning in het IJsselmeer. Met bijvoorbeeld de satelliet Sentinel 3 kan een dataset van concentraties zwevend stof en chlorofyl van enkele jaren vóór de winning worden gemaakt als referentie. Tijdens de winning kunnen de lengte van de pluimen worden gemeten en de maximale concentraties vrijkomend zwevend stof aan het oppervlak. Na de winning kunnen de effecten op de concentraties zwevend stof en chlorofyl en het ecosysteem van het IJsselmeer geanalyseerd worden. Aan de hand daarvan kunnen de milieueffectrapportage en de vergunningen voor volgende winningen worden bijgesteld.

Zandsuppleties voor kustversterking

In het kader van kustversterking worden grote hoeveelheden zand opgespoten: op de kust of bijvoorbeeld via de Zandmotor. Een deel van het losse, opgespoten zand spoelt weg met de stroming, die langs de Nederlandse kustlijn richting de Waddenzee gaat. Mosseltelers geven aan dat het teveel aan zand de percelen bedekt en daarmee een negatieve invloed heeft op de groei. Als dit het geval is heeft het zand mogelijk ook een negatief effect op de natuurlijke mosselbanken en het verdere ecosysteem van de Waddenzee. Hoe ver het opgespoten zand zich na het opspuiten verplaatst en in welke dichtheden kan met satellietbeelden, eventueel in combinatie met modellen van zeestromingen, in kaart gebracht worden. Afhankelijk van de resultaten kan de zandsuppletie bijvoorbeeld vooral in bepaalde jaargetijden of met bepaalde windrichtingen worden uitgevoerd om zo min mogelijk tot verstoring te leiden.

Detectie van muien

Muien zijn gevaarlijke zeestromingen die van het land af stromen. Recreanten kunnen in een mui stroom terecht komen en verdrinken. In de SBIR fase 1 'beeldherkenning en remote sensing voor de leefomgeving' is in één van de haalbaarheidsstudies onderzoek gedaan naar detectie van muien met

satellietbeelden, ter ondersteuning van het te plaatse traceren van de actuele mui-stromen. Een fase 2 SBIR met een pilot wordt geëvalueerd. Indien deze wordt uitgevoerd kan IenW daarbij aanhaken, anders kan een eigen pilot worden uitgevoerd.

Koelwaterbeleid

Een pilot koelwaterbeleid kan ingaan op de technische mogelijkheden voor het monitoren van de opwarming van de oppervlaktewatertemperatuur als gevolg van lozingen. Satellieten die gebruikt worden voor het monitoren van watertemperatuur hebben gemiddeld een wat lagere resolutie dan satellieten die gebruikt worden voor waterkwaliteit (zie Bijlage 2). In een pilot zou uitgezocht kunnen worden op welke plaatsen in Nederland waar koelwater wordt onttrokken/geloozd de temperatuur kritisch is voor het ecosysteem, in welke van deze gevallen satellietbeelden een zinvolle bijdrage zouden kunnen leveren aan de monitoring van de watertemperatuur en hoe operationeel gebruik hiervan precies vormgegeven zou kunnen worden. Kan een lozing bijvoorbeeld snel stopgezet worden als kritische waarden overschreden worden?

Sargassum monitoring

Het aanspoelen van Sargassum op stranden in het Caribisch gebied wordt door klimaatsverandering een steeds groter probleem: zowel voor de toerismesector als voor de biodiversiteit. Er worden mogelijkheden geopperd om Sargassum uit zee te vissen voor het aanspoelt, wat voorkomt dat het vervuild raakt met grote hoeveelheden zand en ook voorkomt dat de stranden hierdoor krimpen. De planten zouden daarna misschien zelfs gebruikt kunnen worden in voeding, cosmetica of in biomassacentrales. De mogelijkheden hiervoor beginnen met een pilot om uit te zoeken hoe lang van te voren en hoe nauwkeurig voorspeld kan worden waar het Sargassum zich bevindt, of het zal gaan aanspoelen en waar precies, zodat het inderdaad tijdig uit zee geoogst kan worden.

Monitoring van veranderingen in rivierpluimen in IJsselmeer en Noordzee als gevolg van klimaatsverandering

De verwachting is dat de hoeveelheid sediment en chlorofyl in rivieren sterk zal gaan fluctueren als gevolg van klimaatverandering. De hoeveelheid afvoer en stroomsnelheid zullen grotere fluctuaties gaan vertonen als gevolg van perioden met droogte gevolgd door zware regenval, waardoor de hoeveelheden sediment die door wervelingen in de waterkolom komen meer zullen gaan fluctueren. Ook fluctuaties in concentraties chlorofyl als gevolg van hogere watertemperatuur en langzaam stromend water, gevolgd door grotere stroomsnelheden en afvoer. Dit zal leiden tot veranderingen in rivierpluimen in de Noordzee en het IJsselmeer, wat weer gevolgen zal hebben op de aanwezige ecosystemen. Deze veranderingen zullen waarschijnlijk invloed hebben op deze gebieden binnen de Kaderrichtlijn Marien en de Kaderrichtlijn Water.

8 Referenties

- Abrahams A, Schlegel RW and Smit AJ (2021). Variation and Change of Upwelling Dynamics Detected in the World's Eastern Boundary Upwelling Systems. *Front. Mar. Sci.* 8:626411. doi: 10.3389/fmars.2021.626411
- Alawadi, F. (2010). Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI), *Proc. SPIE 7825, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2010*, 782506. <https://doi.org/10.1117/12.862096>
- Argus, Laura, Tiit Kutser, Birgot Paavel, Martin Ligi, Claudia Giardino, Mariano Bresciani, and Tiia Möller (2023). "Mapping Bathymetry and Shallow Water Benthic Habitats in Inland and Coastal Waters With Sentinel-2". *Journal of Limnology* 82 (1). <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2023.2091>.
- Barsi, J.A., Schott, J.R., Palluconi, F.D. and Hook, S.J. (2005) Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments. *Earth Observing Systems X*, edited by James J. Butler, *Proceedings of SPIE Vol. 5882*. <https://doi.org/10.1117/12.619990>
- Blauw, Anouk, Eleveld, Marieke (2020). Innovatieve monitoring BES-eilanden ter ondersteuning van ecologische toestand kustwateren. *Deltares*, in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. ID: 11203730-020-ZWS-0001
- Brando, V. E., Braga, F., Zaggia, L., Giardino, C., Bresciani, M., Matta, E., Bellafiore, D., Ferrarin, C., Maicu, F., Benetazzo, A., Bonaldo, D., Falcieri, F. M., Coluccelli, A., Russo, A., and Carniel, S.: High-resolution satellite turbidity and sea surface temperature observations of river plume interactions during a significant flood event, *Ocean Sci.*, 11, 909–920, <https://doi.org/10.5194/os-11-909-2015>, 2015.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for Lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22, 361–369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Carrer, D., Moparthy, S., Vincent, C., Ceamanos, X., C. Freitas, S., & Trigo, I. F. (2019). Satellite retrieval of downwelling shortwave surface flux and diffuse fraction under all sky conditions in the framework of the LSA SAF program (part 2: evaluation). *Remote Sensing*, 11(22), 2630.
- Dionisio Pires et al., 2019. Improved version of the algal forecasting models, EOMORES Project Deliverable 3.5, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3663819>
- Gao, J. (2009). Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 33(1), 103–116. <https://doi.org/10.1177/0309133309105657>
- Ghirardi, Nicola, Mariano Bresciani, Giulia Luciani, Gianfranco Fornaro, Virginia Zamparelli, Francesca De Santi, Giacomo De Carolis, Claudia Giardino (2020). Mapping of the risk of coastal erosion for two case studies: Pianosa island (Tuscany) and Piscinas (Sardinia), pp. 713-722, CC BY 4.0 International, DOI 10.36253/978-88-5518-147-1.71
- Gower., J, Erika Young & Stephanie King (2013) Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011, *Remote Sensing Letters*, 4:8, 764-773, DOI: 10.1080/2150704X.2013.796433

- Harthoorn, Eric, Ouwersloot, Martine, 2019. Wegwijzer Datagedreven werken bij DGWB. lenW. Beschikbaar via https://www.digitaleoverheid.nl/wp-content/uploads/sites/8/2020/03/lenW-Wegwijzer-Datagedreven-werken_def_web.pdf.
- Harvey, E.T., Krause-Jensen, D., Stæhr, P.A., Groom G.B, Hansen, L.B. (2018). Literature review of remote sensing technologies for coastal chlorophyll-a observations and vegetation coverage. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 112. DOI:10.13140/RG.2.2.24307.63524/1
- Hedley, J.D.; Roelfsema, C.M.; Chollett, I.; Harborne, A.R.; Heron, S.F.; Weeks, S.; Skirving, W.J.; Strong, A.E.; Eakin, C.M.; Christensen, T.R.L.; Ticzon, V.; Bejarano, S.; Mumby, P.J. (2016). Remote Sensing of Coral Reefs for Monitoring and Management: A Review. Remote Sensing 8, 118. <https://doi.org/10.3390/rs8020118>
- Hommersom, Annelies, Lazaros Spaias, Kathrin Poser, Steef Peters, Marnix Laanen, Suhyb Salama (2017). Clear view on a turbid estuary (HBOTE). Technical report. Annex to HBOTE final report Phase 1. Water Insight and ITC. Delivered to Rijkswaterstaat as part of the SBIR HBOTE study. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6034901>
- IOCCG report 20 (2021). Observation of Harmful Algal Blooms with Ocean Colour Radiometry. Edited by Bernard, S., Kudela, R., Robertson Lain, L. and Pitcher, G.C., pp. 165. https://ioccg.org/wp-content/uploads/2021/05/ioccg_report_20-habs-2021-web.pdf
- Jacobs P, Kromkamp JC, van Leeuwen SM, Philippart CJM (2020) Planktonic primary production in the western Dutch Wadden Sea. Mar Ecol Prog Ser 639:53-71. <https://doi.org/10.3354/meps13267>
- Jacobs P, Pitarch J, Kromkamp JC, Philippart CJM (2021) Assessing biomass and primary production of microphytobenthos in depositional coastal systems using spectral information. PLOS ONE 16(7): e0246012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246012>
- Jansen, H.M., Lianne van den Bogaart, Annelies Hommersom, Jacob Capelle (accepted). Spatio-temporal analysis of sediment plumes formed by mussel fisheries and aquaculture in the western Wadden Sea. Aquaculture Environment Interactions
- Matthews, Mark William, Stewart Bernard, Lisl Robertson (2012). An algorithm for detecting trophic status (chlorophyll-a), cyanobacterial-dominance, surface scums and floating vegetation in inland and coastal waters, Remote Sensing of Environment 124, 2012, pp 637-652, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.05.032>.
- Nechad, B., K.G. Ruddick, Y. Park (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. Remote Sensing of Environment 114-4, pp. 854-866, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>.
- Neil, C., E. Spyrakos, P.D. Hunter, A.N. Tyler (2019). A global approach for chlorophyll-a retrieval across optically complex inland waters based on optical water types. Remote Sensing of Environment 229, 159-178, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.027>
- Nyawacha; S.O., V. Meta ; A. Osio (2021). Spatial temporal mapping of spread of water hyacinth in Winum Gulf, Lake Victoria. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B3-2021. XXIV ISPRS Congress. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-341-2021>
- 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.3463050

- Peters, S., Poser, K., Hommersom, A., Spaias, L., Lin, Y., Barillé, A., Harin, N., Gernez, P., Barillé, L., Zoffoli, L., van der Hiele, T., van Houcke, J., Gonzalez Vilas, L., Torres Palenzuela, J. (2019). Higher Level Products. CoastObs Project 776438. Wageningen.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4320497>
- Peters, Steef; Laanen, Marnix; Vaartjes, Marco; Oosterbaan, Johan; Van Druten, Jerry (2021). Optische metingen ter ondersteuning van het blauwalgenprotocol. H2O vakartikelen www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/optische-metingen-ter-ondersteuning-van-het-blauwalgenprotocol
- Philippart et al, 2020. Quick scan Zeeschuim. NIOZ. Beschikbaar via: www.nioz.nl/application/files/flowpaper/quick_scan_ZEESCHUIM
- Riddick, C.A.L., Spyrakos, E.S., Hunter, P.D., Tyler, A.N., Barillé, A. (2019a). D3.4 Phytoplankton Size Class Product Documentation. CoastObs Project
- Riddick, C.A.L., Spyrakos, E.S., Hunter, P.D., Tyler, A.N., Poser, K., Peters, S. (2019b). D3.5 Primary Production Product Documentation. CoastObs Project.
- Ruescas, A.B., Hieronymi, M., Mateo-Garcia, G., Koponen, S.; Kallio, K., Camps-Valls, G. (2018). Machine Learning Regression Approaches for Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) Retrieval with S2-MSI and S3-OLCI Simulated Data. Remote Sens. 10, 786.
<https://doi.org/10.3390/rs10050786>
- Ruiz-Verdú, Antonio, Stefan G.H. Simis, Caridad de Hoyos, Herman J. Gons, Ramón Peña-Martínez. (2008). An evaluation of algorithms for the remote sensing of cyanobacterial biomass, Remote Sensing of Environment 112, 11.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.11.019>.
- Samarinas N, Spiliotopoulos M, Tziolas N, Loukas A. (2023). Synergistic Use of Earth Observation Driven Techniques to Support the Implementation of Water Framework Directive in Europe: A Review. Remote Sensing 15(8):1983
<https://doi.org/10.3390/rs15081983>
- Shi, K., Yunlin Zhang, Boqiang Qin, Botian Zhou (2019). Remote sensing of cyanobacterial blooms in inland waters: present knowledge and future challenges, Science Bulletin 64, 20. pp 1540-1556. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.07.002>
- Soomets, T.; Uudeberg, K.; Kangro, K.; Jakovels, D.; Brauns, A.; Toming, K.; Zagars, M.; Kutser, T. (2020). Spatio-Temporal Variability of Phytoplankton Primary Production in Baltic Lakes Using Sentinel-3 OLCI Data. Remote Sens. 12, 2415.
<https://doi.org/10.3390/rs12152415>
- Tian, Y.Q.; Yu, Q.; Zimmerman, M.J.; Flint, S.; Waldron, M.C. 2010. Differentiating aquatic plant communities in a eutrophic river using hyperspectral and multispectral remote sensing. Freshwater Biology 55, 8, pp 1658-1673. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02400.x>
- Villa, Paolo, Alijafar Mousivand, Mariano Bresciani (2014). Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modeling and linear mixture simulation. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 30, pp 113-127,
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.01.017>
- Villa, Paola, Mariano Bresciani, Rossano Bolpagni, Monica Pinaridi, Claudia Giardino (2015). A rule-based approach for mapping macrophyte communities using multi-temporal aquatic

vegetation indices, *Remote Sensing of Environment* 171, pp 218-233,

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.10.020>

- Water-ForCE, 2023. A Roadmap for the Future of Copernicus for Water – DRAFT. De eindversie, die openbaar gemaakt zal worden wordt begin 2024 verwacht.
- Xu J, Zhao J, Wang F, Chen Y and Lee Z (2021) Detection of Coral Reef Bleaching Based on Sentinel-2 Multi-Temporal Imagery: Simulation and Case Study. *Front. Mar. Sci.* 8:584263. doi: 10.3389/fmars.2021.584263
- Zhao, C. et al., Remote sensing algorithms of seawater transparency: A review, 2022. 3rd International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing (ICGMRS), Zhoushan, China, 2022, pp. 744-749, doi: 10.1109/ICGMRS55602.2022.9849274.
- Zhou, T.; Fu, H.; Sun, C.; Wang, S. Shadow Detection and Compensation from Remote Sensing Images under Complex Urban Conditions. *Remote Sens.* 2021, 13, 699. <https://doi.org/10.3390/rs13040699>
- Zoffoli, Maria Laura; Gernez, Pierre; Rosa, Philippe; Le Bris, Anthony; Brando, Vittorio E.; Barillé, Anne-Laure; Harin, Nicolas; Peters, Steef; Poser, Kathrin; Spaias, Lazaros; Peralta González, Gloria; Barillé, Laurent (2020). Sentinel-2 remote sensing of *Zostera noltei*-dominated intertidal seagrass meadows. *Remote Sensing of Environment* 251, 112020. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112020
- Zoffoli, Maria Laura, Pierre Gernez, Laurent Godet, Steef Peters, Simon Oiry, Laurent Barillé (2021). Decadal increase in the ecological status of a North-Atlantic intertidal seagrass meadow observed with multi-mission satellite time-series. *Ecological Indicators* 130, 108033, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108033>

Bijlage 1: Overzicht van mogelijke parameters

We refereren in Tabel 1 naar de Technologische ontwikkelingsfase (even verderop in deze bijlage) en de resolutie en mogelijke satellieten (Bijlage 2: Geschikte satellieten, resoluties en frequenties). In de paragrafen 3.1 tot en met 3.6 worden de ontwikkelingsstadia van de verschillende categorieën (parameters in de waterkolom, afgeleiden of indicatoren voor de waterkolom, het wateroppervlak, de waterbodem, in combinatie met modellen en algemene afgeleiden) in meer detail besproken.

Tabel met parameters

Tabel 1 Waterkwaliteitsparameters die kunnen worden afgeleid uit satellietdata. Voor de ontwikkelingsfase geldt: 1 = startfase, 2 = in ontwikkeling, 3 = operationeel. De referenties zijn bij voorkeur overzichtsartikelen van methoden of referenties naar standaarden, anders voorbeelden van methoden of van toepassingen. Vaak zijn er veel meer artikelen over een onderwerp gepubliceerd.

Parameter	Toepassing	Ontwikkelingsfase ¹⁸	Resolutie (in m)	Satelliet ¹⁹	Referentie
Waterkolom (zie ook paragraaf 3.1)					
Chlorofyl gehalte	o.a. indicator eutrofiering, kaderrichtlijn water, watersysteemanalyse, voedsel voor schelpdieren	3 (S3, S2), 2 (WV)	300, 10 of 0.5	S3, S2, WV	Neil et al., 2019
Zwevend stofgehalte / slibgehalte	watersysteemanalyse, slibdynamiek, effecten van baggeren	3 (S3, S2), 2 (WV, SV, PN)	300, 10 of 0.5	S3, S2, SV, PN	Nechad et al., 2010
Extinctie / doorzicht / Secchi diepte	watersysteemanalyse, indicator eutrofiering, kaderrichtlijn water, brononderzoek, effecten op gezondheid koraalrif	3 (S3, S2), 2 (WV, SV, PN)	300, 10 of 0.5	S3, S2, SV, PN	Zhao et al., 2022
Gekleurd opgelost organisch materiaal	watersysteemanalyse, brononderzoek	3	300, 10	S3, S2	Ruescas, 2018.
Fycocyanine / chlorofyl-a geassocieerd met blauwalgen	blauwalgenprotocol, beheer zwemwater	3 (S3), 2 (S2)	300, 10	S3, S2	Ruiz-Verdú et al, 2008, Shi et al., 2019
Afgeleide parameters en indicatoren in waterkolom (zie ook paragraaf 3.2)					

¹⁸ Ontwikkelingsfase wordt besproken in paragraaf 0

¹⁹ Afkortingen van satellietinstrumenten zijn uitgeschreven in Tabel 2. Er zijn vaak meerdere satellieten mogelijk, we verwijzen hier naar een kleine selectie (zie paragraaf 0).

Biovolume blauwalgen (blauwalgenprotocol zwemwater)	blauwalgenprotocol, zwemwater	2	300	S3	Peters et al., 2021
Fytoplankton celgrootte klassen (kustwater)	ecologische draagkracht	2	300	S3	Riddick et al., 2019a
Primaire productie (kustwateren)	monitoring waterkeringen	2 (lokale ijking nodig)	300	S3	Jacobs et al., 2020, Riddick et al., 2019b, Soomets et al., 2020
Potentieel schadelijke algenbloei (HAB) of Pheocystis	aquacultuur (schelpdieren, vis)	2	300, S2	S3, S2	IOCCG report 20 (2021)
Monitoring van pluimen door baggeren, schelpdierooft, rivierpluimen	monitoring van invloeden door baggerwerkzaamheden, schelpdierooft en rivierafvoer	3	10	S2	Poser et al., 2019, hfdstk. 4 Jansen et al., accepted
Fytoplankton bloei fenologie	ecologisch onderzoek	2	300, 10	S3, S2	Poser et al., 2019, hfdstk. 3
Ecologische status van fytoplankton biomassa voor Kaderrichtlijn Water (KRW) rapportage	kaderrichtlijn water	3	300, 10	S3, S2	Papathanaopoulou et al., 2019, Samarinas, 2023
Detectie van 'opwelling' events	indicator voor ontstaan (schadelijke) algenbloei voor aquacultuur (schelpdieren, vis)	3	1000, 100	S3, L8/L9	Abrahams et al., 2021
Leaf area index	ecologische analyse	2	300, 10 of 0.5	S3, S2, SV, PN	Villa et al., 2014
Trofische status index	indicator voor eutrofiering	3	10	S2	Carlson, 1977
Fytoplankton compositie (% blauwalgen)	kaderrichtlijn water	3 (S3), 2 (S2)	300, 10	S3, S2	Papathanaopoulou et al., 2019
Voedselkwaliteit (voor schelpdieren)	schelpdierteelt	3	300	S3, S2	Poser et al., 2019, hfdstk. 7
Voedselkwantiteit (voor schelpdieren)	schelpdierteelt	3	300	S3, S2	Poser et al., 2019, hfdstk. 7
Wateroppervlak (zie ook paragraaf 3.3)					

Temperatuur	watersysteemanalyse, effecten op ecologie, input voor verschillende modellen	3	1000 of 100	S3, L8/L9	S3 standard product ²⁰ Brando et al., 2015; Barsi et al., 2005
Invallend licht (PAR)	watersysteemanalyse, noodzakelijk voor primaire productie	3	300	S3	S3 standard product ²¹ ; Carrer et al., 2019
Aan- of afwezigheid van vegetatie	doorstroming in geval van hoog water, ecologische toestand, schouw	3	0.5	SV, PN, WV	NDVI ²²
Aan- of afwezigheid van water	bij hoog water /overstroming, monitoring plas- dras gebieden	3	300, 10 of 0.5	S3, S2, SV, PN	NDWI ²³
Kustlijn monitoring, erosiegevaar	zandmotor, duin- en kust monitoring	3	10, 0.5	S2, SV, PN	Poser et al., 2019, hfdstk. 5, Ghirardi et al., 2020
Indicatie invasieve soorten, zoals Grote Waternavel, Water Hyacint	invasieve soort, doorstroming in geval van hoog water, schouw	1-3	0.5	WV	Nyawacha et al., 2021
Sargassum detectie	toerisme in Caraïben, biomassa oogsten	3	300, 10	S2, S3	Gower et al., 2013
Drijfalgan aan/afwezig, type	blauwalgenprotocol, beheer zwemwater	3	300, 10 of 0.5; type 300	S3, S2, SV, PN, WV	Alawadi, 2010. Matthews et al., 2012
Drijfbladbedekking	ecologische status, schouw	2	0.5	WV	Matthews et al., 2012
Drijfalgan bedekking	indicator voor eutrofiering, watersysteemanalyse	2	0.5	WV	Tian et al., 2010

²⁰ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr/overview/geophysical-measurements/sea-surface-temperature>

²¹ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci/product-types/level-2-water>

²² https://nl.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index

²³ https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_difference_water_index

Kroosbedekking	indicator voor eutrofiering, watersysteemanalyse	2	0.5	SV, PN, WV	Tian et al., 2010
Beschaduwing	watersysteemanalyse	1	0.5	SV, PN, WV	Zhou et al, 2021 ²⁴
Waterbodem (zie ook paragraaf 3.4)					
Drooggevallen wadplaat ja/nee	cartografie	3	300, 10 of 0.5	S3, S2, SV, PN	NDWI
Oppervlakte temperatuur (wadplaat)	systeemanalyse	3	1000 of 100	S3, L8/L9	Barsi et al., 2005
Waterdiepte / bathymetrie (in helder water)	cartografie, scheepvaart, baggeren	3	20-30, 10, 2 ²⁵	S2, L8/L9	Gao, 2009, Argus et al., 2023
Koraalrifmonitoring en koraalrif verbleking (in helder water)	ecologisch onderzoek, onderzoek klimaatverandering	3, 2 (verbleking)	10	S2	Hedley et al., 2018; Xu et al., 2021
Zeegrasbedekking	ecologisch onderzoek, KRW rapportage	3	10	S2	Harvey, 2018, Zoffoli et al., 2020, 2021.
Ondergedoken waterplanten bedekking	doorstroming in geval van hoog water, ecologische toestand, schouw	2-3 groot, helder water; 1 smal of troebel water	10, 0.5	SV, PN, WV	Villa et al, 2015
Bentische biomassa op drooggevallen wadplaat	monitoring waterkeringen	2	300, 10 of 0.5	S3, S2, SV, PN	Jacobs et al., 2021
Korrelgrootte / sediment type op wadplaat	input fysische modellen bijv. sedimenttransport, geschiktheid zeegras	2	300, 10 of 0.5	S3, S2, SV, PN	Hommersom et al., 2017
In combinatie met modellen (zie ook paragraaf 3.5)					
Mosselgroeiopotentie	aquacultuur	2	300	S3	Poser et al., 2019, hfdstk. 7
Algen groei voorspelling (AlgaeRadar)	beheer zwemwater	2	10	S2	Dionisio Pires et al., 2019

²⁴ In remote sensing is het traceren en verwijderen van pixels die beïnvloed zijn door wolken van groot belang, meer geavanceerde methoden detecteren ook de wolkschaduw. Er zijn dan ook veel onderzoeken met dit als focus, niet het traceren van relatief continue beschaduwing van een watervlak door bijv. bomen voor ecologische doeleinden.

²⁵ Met lidar satelliet (geen optische satelliet)

Drijfslagen voorspelling (EWACS)	beheer zwemwater	2	10	S2	Dionisio Pires et al., 2019
Statistische informatie in tijd en ruimte (zie ook paragraaf 3.6)					
Historische analyses, baseline studies	Historische analyses, baseline studies voor bijv maatregelen of baggerprojecten	Zelfde als gekozen parameter(s). Alleen met S2, S3, L8/9. Niet met SV, PN, WV.			-
Veranderingen tussen verschillende periodes	analyse van effecten van maatregelen, klimaatverandering	Zelfde als gekozen parameter(s).			-
Tijdseries	trendanalyses, eutrofiering, klimaatverandering	Zelfde als gekozen parameter(s).			-
Statistiek, P90 waarden	kaderrichtlijn water, analyse van effecten van maatregelen, klimaatverandering	Zelfde als gekozen parameter(s).			-

Technologische ontwikkelingsfase

En algemeen geaccepteerde methode om aan te geven hoe ver een technische oplossing gevorderd is het “Technological Readiness Level” (TRL). Tijdens de ontwikkeling stijgt de TRL van een beoogd product of methode van fundamenteel onderzoek (TRL1) via toegepast onderzoek (TRL2), ‘proof of concept’ (TRL3), implementatie en test van een prototype (TRL4), via validatie van het prototype (TRL5), demonstratie in testomgeving (TRL6), demonstratie van prototype in de operationele omgeving (TRL7), en volledig operationeel (TRL8) naar marktintroductie (TRL9). De exacte definities van de TRLs variëren soms een beetje, waardoor het, zeker voor technologieën waarvan niet alle stappen volledig beschreven zijn in publicaties, lastig is de precieze TRL te bepalen. Voor remote sensing geldt daarbij ook dat methoden soms lokaal opnieuw getuned moeten worden, waardoor een methode die op één locatie al volledig operationeel is (TRL8 of zelfs TRL9), op een andere locatie nog even ‘terug’ moet naar lokale tuning en demonstratie (TRL5, TRL7). Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als een algoritme is ontwikkeld voor chlorofylconcentraties in oceaanwater, waar over het algemeen kleine algencellen die zijn aangepast aan weinig voedsel, wat toegepast moet worden in binnenwater met grote algencellen die zijn aangepast aan eutrofe omstandigheden. In Tabel 1 werken we daarom met een ‘ontwikkelfase’ met wat grovere stappen dan de TRLs. De startfase (1) geldt grofweg voor methoden met TRL1-3, de ontwikkelfase (2) voor methoden met TRL4-6 en de operationele fase (3) voor methoden met TRL7-9.

Bijlage 2: Geschikte satellieten, resoluties en frequenties

Zoals in hoofdstuk 2 werd besproken zijn er een aantal eigenschappen van satellieten van belang voor de mogelijkheden van het afleiden van parameters en ook voor de geschiktheid. Welk satellietinstrument geschikt is hangt af van:

- De technische mogelijkheden van de sensor: heeft de satelliet de juiste spectrale banden om de parameter af te leiden
- De resolutie: de pixels moeten klein genoeg zijn om het watervlak met daarin de gewenste parameter te onderscheiden. Bij binnenwateren is dit vaker een limiterende factor
- De frequentie: de monitoringsfrequentie moet in verhouding zijn met de duur van het te monitoren proces

In Tabel 1 zijn daarom kolommen met resoluties en satellietinstrumenten toegevoegd. Meer details hierover zijn te vinden in Tabel 2. Het gaat hierbij om voorbeelden van geschikte satellietinstrumenten, niet om *alle* mogelijke satellietinstrumenten (dat zijn er veel te veel). We focussen hier op satellietinstrumenten die interessant zijn voor IenW omdat de ruwe data gratis beschikbaar zijn vanuit het Europese Copernicus programma (Sentinels), of de beelden door Nederland worden ingekocht en in het NSO Satellietdataportaal beschikbaar gesteld worden (SuperView voor afgelopen paar jaar en SuperView en Pléiades NEO voor nu) of omdat ze andere specifieke eigenschappen hebben die voor bepaalde parameters toegevoegde waarde hebben (Landsat 8 en 9, WorldView).

Tabel 2 Voorbeelden van mogelijke satellietinstrumenten

Satelliet	Afkorting	Aantal spectrale banden	Resolutie (m)	Frequentie	Prijs van ruwe beelden	Beschikbaarheid
Sentinel 3 OLCI (optisch) en SLSTR (thermal)	S3	21	300 (OLCI) 1000 (SLSTR)	Dagelijks	Gratis	Vrij beschikbaar
Sentinel 2 MSI	S2	13	10	Ongeveer elke 5 dagen	Gratis	Vrij beschikbaar
Landsat 8, 9: OLI (optisch) en TIRS (thermal)	L8/L9	11	30 (OLI), 100 (TIRS)	Samen elke 8 dagen	Gratis	Vrij beschikbaar
SuperView	SV	4	0.5	Opnamen alleen op aanvraag. 2019-2023 elke 6 weken via	Duur. Gratis via Satelliet dataportaal	Alleen opnamen als van tevoren aankoop wordt ingepland

				satelliet dataportaal ²⁶		
Pléiades NEO	PN	6	0.3	Opnamen alleen op aanvraag 2023-heden elke 6 weken via satelliet dataportaal ⁸	Duur. Gratis via Satelliet dataportaal	Alleen opnamen als van tevoren aankoop wordt ingepland
WorldView 3, 4	WV	8	0.3-0.5	Opnamen alleen op aanvraag	Erg duur	Alleen opnamen als van tevoren aankoop wordt ingepland

²⁶ Vanaf 2023 worden SuperView en Pléiades NEO afgewisseld

Bijlage 3: Voorbeelden van commissies en platforms op het gebied van waterkwaliteit

Er zijn heel wat commissies, platforms en samenwerkingsverbanden op het gebied van waterkwaliteit in Nederland. Een deel daarvan is aangesteld door IenW. Hieronder een korte inventarisatie:

Het **Informatiehuis Water** is een samenwerkingsprogramma van de waterbeheerders van Nederland: de waterschappen, de provincies en Rijkswaterstaat. IenW stuurt Informatiehuis Water actief aan.

- IenW betrokken? Ja
- IenW stuurt aan: Ja
- IenW houdt bij wat er beschikbaar is/gedaan wordt/welke richting het op gaat: Nee

Het **Platform Blauwalgen** (cyanobacteriën) is een netwerk van partijen die werken aan onderzoek, beheer en beleid rondom het thema blauwalgen. Het Platform Blauwalgen wordt ondersteund door STOWA en bestaat uit waterbeheerders, beleidsmakers en onderzoekers vanuit waterschappen, waterlaboratoria, Rijkswaterstaat, universiteiten, kennisinstellingen en onderzoeksinstituten.

- IenW betrokken? Ja
- IenW stuurt aan: Ja
- IenW houdt bij wat er beschikbaar is/gedaan wordt/welke richting het op gaat: Ja

Het Nederlands **Platform voor Waterschapsecologen** is een overleggroep van ecologen die werken bij de waterschappen, Rijkswaterstaat en STOWA. Het platform heeft tot doel de toepassing van ecologie in het waterbeheer te optimaliseren. Het werkveld bestaat zowel uit inhoudelijke als uit meer beleidsmatige (strategische) afstemming en samenwerking.

- IenW betrokken? Nee

Het **Platform Ecologisch Herstel Meren en Plassen** is een groep van waterbeheerders, onderzoekers en adviseurs die zich bezig houden met het ecologisch herstel van meren en plassen, sloten en kanalen. Doel van het platform is kennisuitwisseling en het bevorderen van kennisontwikkeling. Tweemaal per jaar is er een platformbijeenkomst waarin diverse onderwerpen aan bod komen. Ook worden ervaringen uitgewisseld tijdens binnenlandse en buitenlandse excursies in het veld.

- IenW betrokken? Nee

Ons Water is een samenwerkingsverband van: waterschappen, waterbedrijven, watermusea, Rijkswaterstaat, provincies, gemeentes, IenW, Unie van Waterschappen, Vewin, VNG en IPO.

- IenW betrokken? Ja
- IenW stuurt aan: Ja
- IenW houdt bij wat er beschikbaar is/gedaan wordt/welke richting het op gaat: Ja

Netherlands Space Office (NSO) krijgt financiering van o.a. IenW (NSO 'rapporteert zowel financieel als inhoudelijk rechtstreeks aan een stuurgroep bestaande uit vertegenwoordigers van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, IenW en de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).'

- IenW betrokken? Nee
- IenW stuurt aan: Nee
- IenW houdt bij wat er beschikbaar is/gedaan wordt/welke richting het op gaat: Nee

Daarnaast zijn er internationale samenwerkingsverbanden, zoals bijvoorbeeld in **OSPAR**. In OSPAR wordt IenW vaak vertegenwoordigd door iemand van RWS (als BOA, beleidsondersteuning en advies). Deze afstemming is vaak ad hoc

Bijlage 4: geïnterviewden en deelnemers workshop

Geïnterviewden

Paul Bakker, afdeling DGWD, IenW

Lisette Peters, afdeling DGWD, IenW

Deelnemers workshop

Lisette Peters (IenW-DGWB)

Paul Bakker (IenW-DGWB)

Willem Boone (RWS-CIV)

Lisette Enserink (RWS-WVL)

Brenda Schuurkamp (IenW-DGWB)

Carmen Hogendoorn (RWS-WVL)

Laura Tack (RWS-WVL)

Rike van Hattem-Schielen (IenW-DGMI)

Nick Boxem (IenW-FIB-UDAC-IenE)

Eric Harthoorn (IenW-FIB-UDAC-IenE)

Marnix Laanen (Water Insight)

Annelies Hommersom (Water Insight)