

Laseraltimetrie veelbelovend voor meten waterbodemoogte in sloten

Edwin ter Hennepe, Leo Harren en René van der Velden (Waternet), Roger de Crook (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), David Batlle Vazquez (Universiteit van Amsterdam)

Er is behoefte aan een meetmethode van de waterbodemoogte die nauwkeurig, arbeidsextensief en gebiedsdekkend is. De techniek is er voor mariene doeleinden, maar werkt deze ook voor smalle en ondiepe sloten in veenweide- of kleigebieden? Waternet heeft in 2015 een pilot laten uitvoeren in veenweidegebied. Dit heeft meer inzicht opgeleverd in de invloedsfactoren, maar de omstandigheden in veenweidegebied blijken lastig. Er is vervolgonderzoek nodig om de meetmethode te verbeteren en naar hetzelfde bruikbaarheidsniveau te brengen als de infrarode laseraltimetrie voor het AHN. Het onderzoek richt zich op mogelijke verbetering van de groene laser en de ontwikkeling van een gele laser.

“Hoe kunnen we nauwkeurig, arbeidsextensief en gebiedsdekkend inzicht krijgen in de waterbodemoogte van sloten?” Dat was de vraag die Waternet zich in 2013 stelde voor een deelgebied van circa 2.500 hectare, met circa 550 kilometer slootlengte.

Het is nogal een opgave om alle sloten in grote gebieden met de bestaande techniek van de peilstok in te meten: veel sjouwen met materieel, over prikkeldraad en door de modder. Een meetboot(je) is geen handig alternatief vanwege de aanwezigheid van dammen en kunstwerken of *last but not least* de ondiepte van de sloot.

Zou er potentie zitten in meetmethoden vanuit de lucht die de belemmeringen in het veld niet kennen en op termijn goedkoop genoeg zijn om jaarlijks een vlakdekkend beeld op te leveren?

Bathymetrie

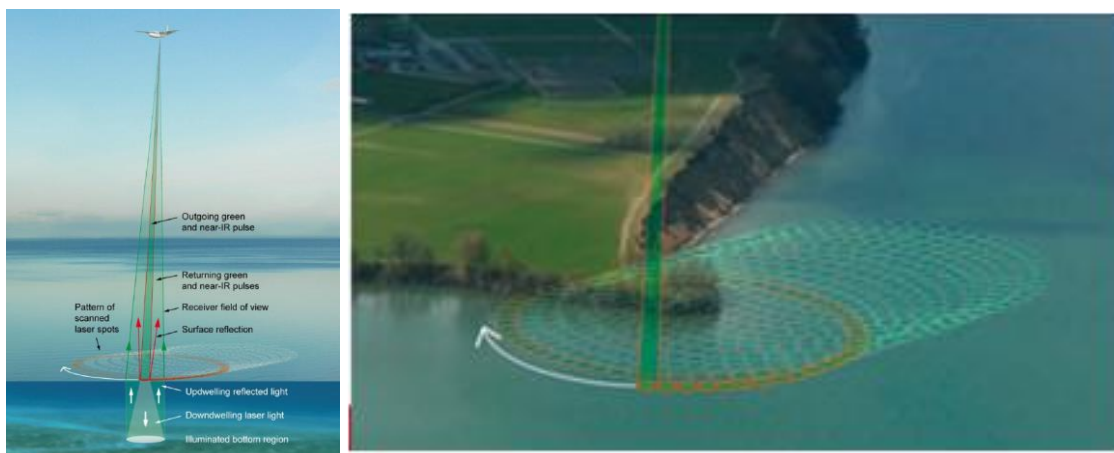
Al vele jaren wordt de diepte van delen van zeeën en kuststroken in beeld gebracht met laseraltimetrie. De apparatuur die hiervoor wordt ingezet is vergelijkbaar met de techniek voor het inmeten van de maaiveldhoogte (zoals beschreven in het Actueel Hoogtebestand Nederland). Voor het inmeten van de maaiveldhoogte wordt gebruik gemaakt van een infrarode laser (golflengte 1064 nm). Deze laser is goed bruikbaar om de hoogte van landoppervlak te meten, maar infrarode laser kan niet doordringen in water. Voor het meten van de waterbodemoogte is deze techniek dus niet geschikt. Voor het inmeten van de waterbodemoogte van zeeën en kuststroken is een groene laser geschikt (golflengte 532 nm).

Potentie en belanghebbenden

Als de laseraltimetrie ook werkt voor smalle, ondiepe sloten, met een onnauwkeurigheid van minder dan 5 centimeter, dan is dat voor (meer) waterschappen - en mogelijk andere organisaties - interessant. Het inzicht in de diepte van sloten helpt bij het beoordelen van de waterafvoercapaciteit, de vaardiepte, de aanwezige hoeveelheid slib, de geschiktheid voor ecologische waarden en het modelleren van het watersysteem. Dit inzicht in de huidige toestand geeft handelingsperspectief om naar een gewenste toestand toe te werken. Ook vergunning en handhaving conform de Waterwet vragen soms om inzicht in de waterdiepte.

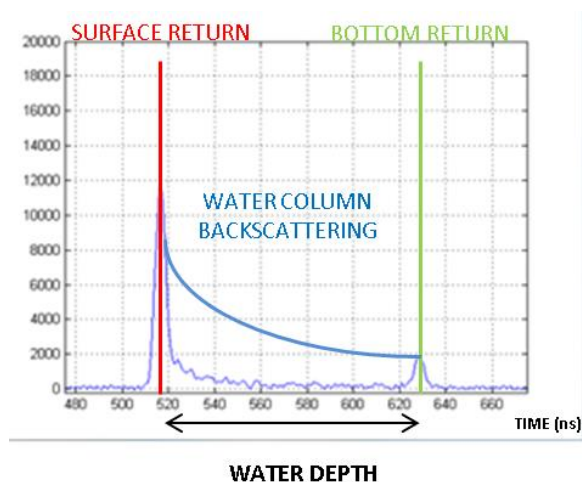
Het werkingsprincipe

De laserapparatuur wordt ingebouwd in een vliegtuig en zendt vanaf een hoogte van circa 400 meter laserstralen uit met een bepaalde punt dichtheid en footprint. Dit principe is weergegeven in afbeelding 1.



Afbeelding 1. De groene laser (532 nm) reflecteert van de bodem, de infrarode laser (1064 nm) reflecteert van het wateroppervlak. De breedte van de straal is de footprint. De scanner draait in een oblique patroon [1], [2]

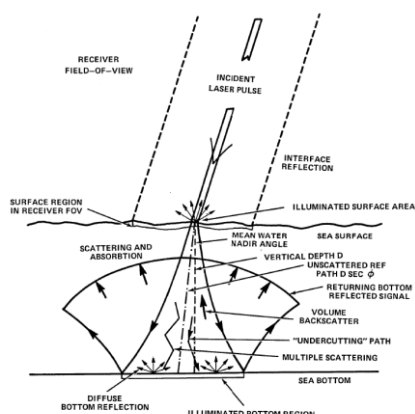
De verstreken tijd tussen de detectie van het wateroppervlak en de waterbodem is een maat voor de waterdiepte (zie afbeelding 2).



Afbeelding 2. De tijd die is verstreken tussen de detectie van het wateroppervlak en de waterbodem is een maat voor de waterdiepte [3]

Invloedsfactoren

Onderweg door de lucht, bij de overgang van lucht naar water en vice versa, in het water en op de waterbodem verliest het lasersignaal veel energie (zie afbeelding 3). De omstandigheden in en van deze media zijn daarom van grote invloed op de haalbaarheid van de meting. De hoogtemeting van de waterbodem blijkt daardoor lang niet zo eenvoudig als de hoogtemeting van het maaiveld.



Afbeelding 3. Onderweg verliest de laser veel energie [4]

Er zijn een aantal factoren die bepalend zijn voor een goede meting:

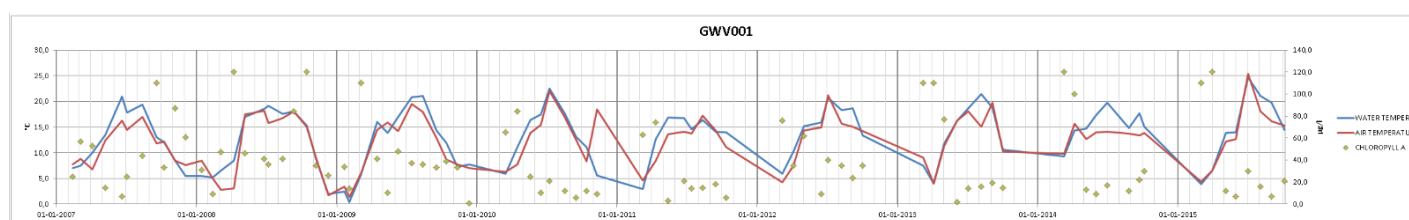
- Watercondities: doorzicht, troebelheid en kleur
- Waterbodemcondities
- Seizoen en weersomstandigheden

Watercondities

Het doorzicht in de watergang en de kleur van (de deeltjes in) het water is van belang. Dit wordt door verschillende parameters beïnvloed, waarvan soms in de loop van het jaar de mate waarin ze invloed hebben verschilt:

- Diatomeeën bloeien van de tweede helft van maart tot eind april (zie afbeelding 4). Zij hebben een bruinachtige kleur die het groen van chlorofyl maskeert.
- Vegetatie in het water komt vanaf ongeveer mei tot ontwikkeling.
- Humuszuren geven het water in veenweidegebied een gele kleur (zie afbeelding 9), vooral als ze na neerslag uit de bodem in de sloten spoelen.
- Als gevolg van neerslagafvoer (en soms wind) kan door de turbulentie een vertroebeling in het water optreden.
- IJzeroxiden kleuren het water bruinachtig. Deze invloed is als gevolg van kwel of inlaat vaak jaarrond. Bij een vroegere inlaat van ijzerrijk water kan nalevering uit de sliblaag voorkomen als de watertemperatuur boven de 10°C komt.

Deze parameters zorgen ervoor dat licht wordt geabsorbeerd of gereflecteerd. Hoe lager de gehalten, hoe meer licht de waterbodem kan bereiken.



Afbeelding 4. Temperatuur van lucht en water en het maandelijks analyseresultaat voor chlorofyl, een maat voor de diatomeeën in het water [5]

Waterbodemcondities

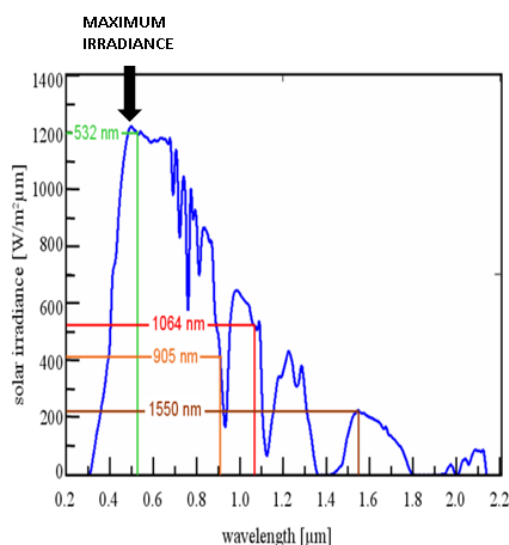
De compactheid, de korrelgrootte, het gehalte organische stof en de kleur van de waterbodem zijn bepalend voor de absorptie of reflectie van het licht.

De laseraltimetrie werkt goed in gebieden met een zandige of harde stenige onderwaterbodem (bij de mariene toepassing). In gebieden met klei of veen zal de laser meer moeite hebben voldoende energie over te houden voor de reflectie retour door de waterkolom naar de detectieapparatuur. Van een venige bodem is bekend dat de overgang van water naar bodem vaak geleidelijk verloopt (door de zachte prut/slib) en daardoor moeilijk te bepalen is. Bladeren op de waterbodem en de mate waarin er nog niet verteerd plantenafval aanwezig is zijn ook van invloed.

Moment van vliegen

Gezien de moeilijke omstandigheden in sloten in is het verstandig het moment van vliegen te kiezen bij de meest gunstige omstandigheden. Net als bij het meten van de maaiveldhoogte is het seizoen van belang, want zolang er geen bladeren aan de bomen zitten of oever- en drijfbladplanten aanwezig zijn, is het wateroppervlak bereikbaar voor het lasersignaal. Specifiek voor de meting van het waterniveau en de waterbodemhoogte geldt:

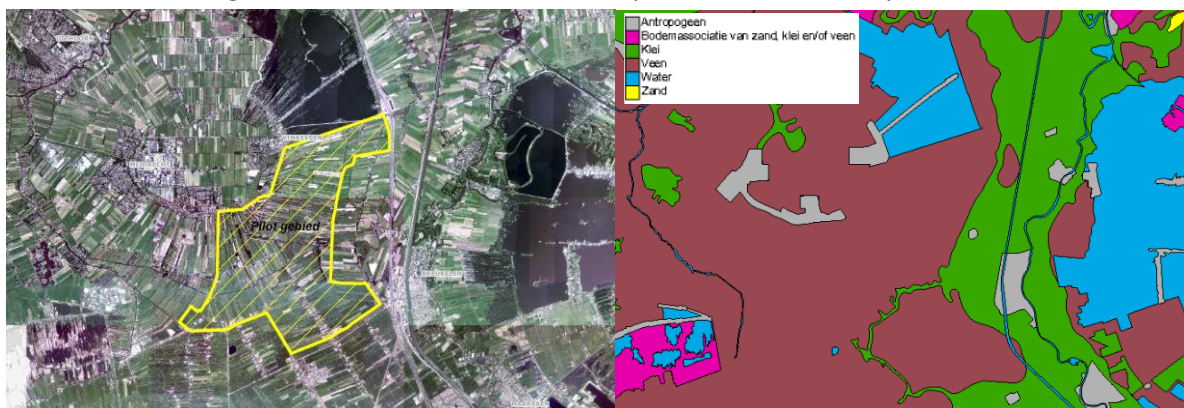
- In de maanden december, januari en februari (en deels in maart) is er géén hinder van vegetatie of diatomeeën. Onderwatervegetatie kan, mits niet in overvloed, worden weggefilterd bij de dataverwerking. Vanzelfsprekend mag er geen ijslaag op het water liggen.
- Niet tijdens of direct na hevige of langdurige regen vanwege de uitspoeling van humuszuren en ander materiaal en de opwerveling en verstoring door de regenwaterafvoer.
- In het donker heeft de voorkeur, want de detectie van de laser wordt beïnvloed door de atmosfeer en het daglicht. Het daglicht interfereert met de golflengte van de groene laser. In optimale omstandigheden is dit aspect niet significant van invloed, maar als andere omstandigheden niet optimaal zijn wel. Het meten van de waterbodemhoogte met (groene) laseraltimetrie kan daarom waarschijnlijk beter 's nachts gedaan worden. Zie afbeelding 5.



Afbeelding 5. De intensiteit van het zonlicht is het hoogst bij 502 nm. Dit kan de detectie van een zwakke return van de groene laser negatief beïnvloeden [6]

Pilot groene laseraltimetrie

Waternet heeft in 2015 samen met hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Het Waterschapshuis en met subsidie van de provincie Utrecht een pilot (groene) laseraltimetrie laten uitvoeren door Aerodata Surveys Nederland in een gebied ten zuiden van Vinkeveen (zie afbeelding 6). Dit gebied kenmerkt zich door het bodemtype veen, hier en daar wat slib/prut op de waterbodem, deelgebieden met verschillende waterpeilen en soms ondiepe sloten.



Afbeelding 6. Ligging van het pilotgebied [7]

Voor deze pilot is de Chiroptera II-laser (van Airborne Hydrography AB (AHAB), specificaties zie afbeelding 8) ingebouwd in een klein vliegtuig (zie afbeelding 7). Met deze laser wordt ook de mariene toepassing uitgevoerd. Bij het plannen van de vlucht is rekening gehouden met de weerscondities en het doorzicht in het water.



Afbeelding 7. Het vliegtuig met de ingebouwde Chiroptera II [8]

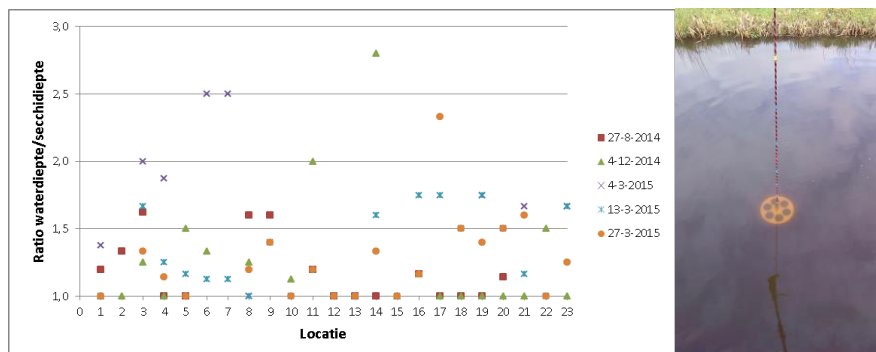
Laser Characterization	
Bathy laser ¹⁾	35 kHz green, full waveform record
Topo laser ²⁾	Up to 500 kHz infrared, with full waveform record option
Operation altitude	Bathymetry 400 – 600 m AGL Topography up to 1600 m AGL
Depth range ¹⁾	$D_{max} = 2.2 / k$ (~ 1.5 Secchi depth)
Scanner pattern	Oblique scanner
Field of view	$\pm 14^\circ$ front/back, $\pm 20^\circ$ left/right
Swath width	70 % of AGL
Point density ³⁾	Bathy: 1.5 pts/m ² Topo: > 12 pts/m ²
Bathymetric accuracy ^{2), 3)}	0.15 m (2 σ)
Topographic accuracy ^{2), 3), 4), 5)}	Ranging accuracy: 2 cm (1 σ) Horizontal accuracy: 20 cm (1 σ)



Afbeelding 8. Specificaties van de laser Leica Ahab Chiroptera II die bij de pilot is gebruikt [2].

De vlucht vond door de korte planningsfase van het pilotproject en het eerder in de maanden februari en maart ontberen van goede vliegomstandigheden pas begin april plaats. Dat was voor de

watercondities aan de late kant. Volgens de gegevens over de laser zou de ratio waterdiepte/secchi-diepte beneden de 1,5 moeten blijven. Voorafgaand aan de vlucht is het doorzicht op een groot aantal locaties in het onderzoeksgebied meer specifiek in beeld gebracht. Dit zag er ondanks de mogelijke bloei van diatomeeën tijdens de metingen van 27 maart nog goed uit (zie afbeelding 9).



Afbeelding 9. Grafiek met ratio van waterdiepte/secchi-diepte op verschillende meetlocaties in het pilotgebied. Bewerking meetresultaten doorzicht Edwin ter Hennepe, foto David Batlle Vasquez

Alle betrokkenen waren dan ook zeer opgetogen dat toch nog een vlucht is uitgevoerd. Dit enthousiasme temperde toen later bij de analyse van de ingewonnen data bleek dat er geen gegevens van de waterbodem waren. Aanvankelijk leek de verklaring toch bij verminderd doorzicht gezocht te moeten worden, maar in toenemende mate werd de verklaring gezocht in de combinatie van doorzicht en de waterbodem.

Alleen op een locatie waar overduidelijk een zandige bodem aanwezig is (langs de provinciale weg ter hoogte van de Vinkeveense Plassen) is het wel gelukt de waterbodemhoogte te meten. Deze ondergrond komt meer overeen met de locaties waar de techniek zich inmiddels bewezen heeft. Een positief resultaat is ook dat met de groene laser de wateroppervlakken nauwkeurig in beeld konden worden gebracht. Daarnaast ontstonden nieuwe inzichten en onderzoeksvragen om vat te krijgen op de factoren die de groene laseraltimetrie beïnvloeden.

Tweede vlucht

In overleg tussen de opdrachtgevers en opdrachtnemer is besloten een tweede vlucht voor te bereiden voor de winter van 2015-2016. Hiervoor hebben we een ander pilotgebied gekozen met naast veen ook klei en zand. Waternet heeft hierbij een student van de Universiteit van Amsterdam (UvA) bereidt gevonden mee te werken aan het verzamelen van veel meetgegevens: op ruim 70 locaties werd van december tot eind maart het doorzicht bepaald, de (maximale) waterdiepte, de kleur van het water, de kleur van de waterbodem en het waterbodentype (zie afbeelding 10 voor een impressie). Hiermee zouden we nog beter in staat moeten zijn om vast te stellen onder welke omstandigheden de lasermeting van de waterbodemhoogte slaagt of niet.

Helaas is door omstandigheden deze tweede vlucht niet doorgegaan.



Afbeelding 10. Bepalen waterkleur, doorzicht en beoordelen waterbodem. Foto's David Batlle Vasquez

Vervolgonderzoek

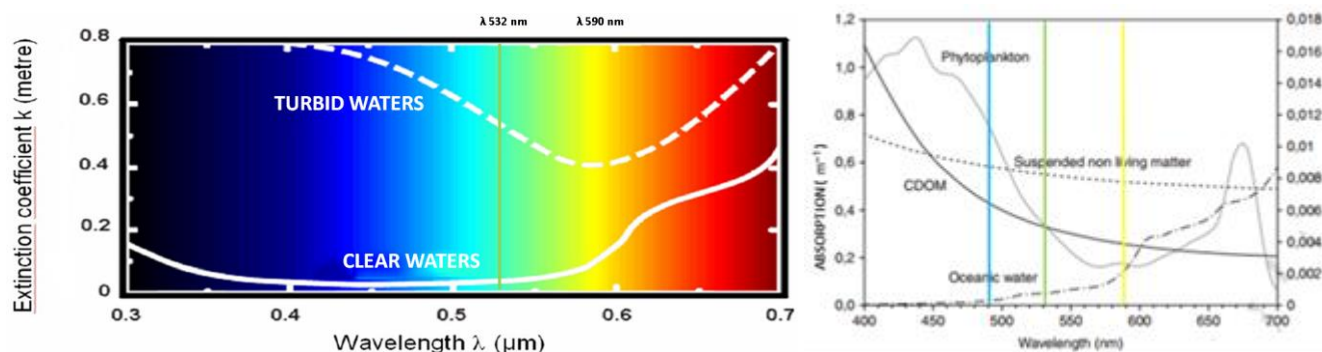
Dezelfde student van de UvA, David Batlle Vazquez, heeft in de periode van december 2015 tot en met maart 2016 uitgebreid literatuuronderzoek gedaan naar de werking van laseraltimetrie. Het beeld dat hieruit naar voren komt verklaart ook dat de water(bodem)condities in Nederland bijzonder lastig zijn. Daarom is na interne gesprekken voorgesteld te onderzoeken of en hoe de laseraltimetrie kan worden verbeterd, zodat hiermee de waterbodemhoogte in Nederland nauwkeurig kan worden vastgesteld. Een hypothese is dat vanwege de gelige (reflectie)kleur van de Nederlandse sloot, een gele laser (golflengte 570-590 nm) mogelijk betere meetresultaten oplevert dan een groene.

De groene laser werkt goed voor mariene doeleinden. Bovendien blijkt de groene laser relatief makkelijk te maken; de golflengte is precies de helft van die van de infrarode laser. Een gele laser is veel lastiger te maken als er ook een hoge energie nodig is om voldoende doordringend vermogen te hebben. Maar dit probleem is mogelijk ook een gevolg van een gebrek aan vraag naar gele lasers.

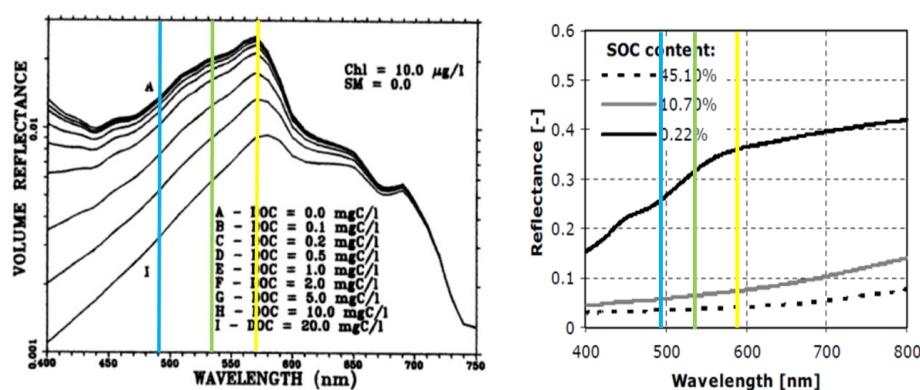
De gele laser werkt volgens diverse onderzoeken beter dan de groene laser:

- in troebel water (zie afbeelding 11),
- heeft betere reflectie bij opgeloste organische stof (zie afbeelding 12),
- heeft betere reflectie bij hogere organische stofgehalten in de waterbodem (zie afbeelding 13) en
- heeft betere reflectie (minder absorptie) bij verschillende gehalten chlorofyl in de waterkolom (zie afbeelding 14).

Batlle Vazquez vervolgt zijn onderzoek de komende maanden met eigen lab- en praktijktesten met een groene en gele laser (op basis van supercontinuümlasers; dit is een witte laser die met een filter kunt om te vormen is tot elke gewenste kleur/golflengte). Met de kennis van collega's bij Waternet van het gebruik van drones voor het inmeten van de maaiveldhoogte, wordt toegewerkt naar een test om met een drone de waterbodemdiepte te bepalen met een groene en gele laser. Dit kan helpen bij de vervolcontacten met laserbouwers en onderzoekers. In december 2016 hoopt Batlle Vazquez zijn onderzoek 'Improvement of water-penetration and bottom-returns of current airborne laser bathymetry-systems by using yellow laser' te kunnen afronden.

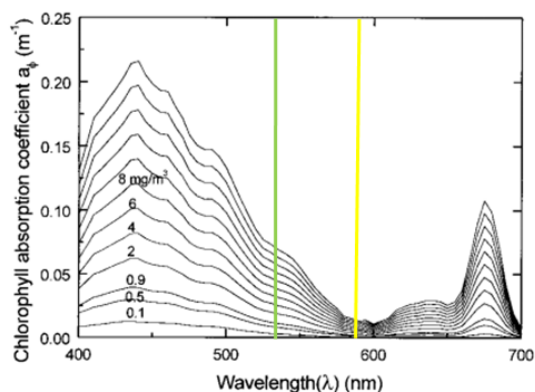


Afbeelding 11. De gele golflengte (570-590 nm) heeft de minste uitdoving in troebel water [9], [10]



Afbeelding 12 (links). Reflectie in de waterkolom bij verschillende concentraties van opgelost organische stof. Meer reflectie is minder absorptieverlies. De maximale reflectie vindt plaats bij een golflengte van 570 nm [11].

Afbeelding 13 (rechts). Als de bodem een hogere fractie organische stof heeft, is de reflectie van de laser slechter. De reflectie neemt toe als de golflengte toeneemt. Bij een hogere fractie organische stof wordt het verschil tussen verschillende golflengten minder [12]



Afbeelding 14. Verband tussen gehalte chlorofyl in de waterkolom en absorptie van verschillende golflengten licht. Geel licht wordt minder geabsorbeerd dan groen [13]

Toekomst

Als deze techniek beschikbaar komt voor waterschappen (en andere organisaties) kan aanzienlijk bespaard worden op de kosten voor het inwinnen van gegevens van de waterbodemoogte. Toepassing met een drone kan het inmeten van veraf- of moeilijk gelegen locaties vereenvoudigen (ten opzichte van de huidige meetmethoden). Vanwege het voordeel van schaalgroote blijft de ontwikkeling van een goede laser met een grotere footprint met een vliegtuig interessant. Met deze

ontwikkeling kunnen meer data over waterbodemhoogte worden verkregen die kunnen helpen bij verschillende opgaven.

Bij dit onderzoek zijn tevens betrokken: Fred de Haan, Haroen Lemmers, Frank Otten, Maarten Ouboter, Frank Smits (allen Waternet), Jérôme Chatillon en Jan-Willem van der Vegt (allen Aerodata Surveys Nederland), Erik Nobbe en Niels van der Zon (Het Waterschapshuis) en Erik Jansen (programmabureau Utrecht-West)

Referenties

1. Groot, P de (2014). Airborne LiDAR [pdf]. Ontvangen via email van AHAB/Leica
2. Brochure Leica Amap Chiroptera II, Topographic and Bathymetric Lidar System
3. Stigermark, C.J. 2014. AHAB-Leica SUPERB 2014. Skåne Projektet [pdf]. Beschikbaar op: <http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjv4Zy4yovMAhVGkQ8KHdV5BQkQFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ultra-superb.eu%2Findex.php%2Findex-ner%2Fpresentation%2Fcategory%2F20-superbs-slutkonferens-3-442014%3Fdownload%3D77%3Asuperbs-slutkonferens&usg=AFQjCNEuUPvHqyTEkRt6p8Yun-aml4j8Q>, geraadpleegd 13 april 2016
4. Guenther, G.C., (1985). Airborne Laser Hydrography. System Design and Performance Factors. Rockville: National Oceanic and Atmospheric Administration, 396p.
5. Grafiek met gegevens van het KNMI vwb luchttemperatuur en gegevens van Waternet over watertemperatuur en het gehalte chlorofyl op een meetlocatie in de polder Groot Wilnis Vinkeveen
6. Pfennigbauer, M., Ullrich, A. (2011). Multi-Wavelength Airborne Scanning. In: *International LiDAR Mapping Forum*. [online] New Orleans, 10p. Beschikbaar op http://www.riegl.com/uploads/tx_pxprigldownloads/Paper_ILMF_2011_RIEGL_Multiwavelength_ALS.pdf, geraadpleegd 1 april 2016
7. <https://webkaart.provincie-utrecht.nl/viewer/app/Webkaart>, geraadpleegd 13 april 2016
8. Vegt, J. v.d., Chatillon, J., (2015). Pilotproject: Meten ondiepe sloten in de polder Groot Wilnis Vinkeveen met laser bathymetry.
9. Piel, S., Populus, J., Chust, G., Galparsoro, I. (2012). Mesh + MeshAtlantic. Recommended Operating Guidelines for Lidar Surveys. [online] European Union, p.8. Beschikbaar op: http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/pdf/MeshA_ROG_Lidar_Survey_v4.0.pdf, geraadpleegd 21 December 2015
10. Aarrestad, S.M. (2014). Use of Underwater Hyperspectral Imagery for Geological Characterization of the Seabed. MSc Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
11. Bukata, R.P., Jerome, J.H., Kondratyev, K.Y., Pozdnyakov, D.V. (1995). Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters. United States: CRC Press, 363p.
12. Bartholomeus, H.M., Schaepma, M.E., Kooistra, L., Stevens, A., Hoogmoed, W.B., Spaargaren, O.S.P. (2008). Spectral Reflectance Based Indices for Soil Organic Carbon Quantification. *Geoderma* [online] 145, 8p. Beschikbaar op: <http://www.sciencedirect.com>, geraadpleegd 12 januari 2016

13. He, M., Liu, Z., Du, K., Li, L., Chen, R., Carder, K., and Lee, Z. (2000) Retrieval of Chlorophyll from Remote Sensing Reflectance in the China Seas. *Applied Optics* [online] 39 (15), 8p. Beschikbaar op: <http://www.osapublishing.org>, geraadpleegd 2 februari 2016