



Themanummer

Bieden nieuwe technologieën en innovatieve concepten de oplossing voor biodiversiteitsbehoud?



Drones en natuurbeheer • **eDNA** barcoding • Citizen science • Herintroducties
Bedrijven en biodiversiteit • Natuurcompensaties

In vogelvlucht naar een efficiënter natuurbeheer?

Over de rol van teledetectie als instrument voor biodiversiteitsbehoud

Ben Somers

Teledetectie, of 'remote sensing' in de vakliteratuur, laat toe om op basis van spectrale sensoren (beschouw ze gerust als fancy fototoestellen) aan boord van vliegtuigen en satellieten op een snelle en efficiënte manier een gebiedsdekkend beeld te vormen van objecten op het aardoppervlak. Het bestuderen van het jachtgedrag van leeuwen, het bestrijden van stroperij, het opvolgen van Orang-oetang populaties, het inschatten van brandrisico, het karteren van floristische diversiteit: dit is slechts een kleine greep uit de mogelijke toepassingen die remote sensing kan bieden aan natuurbeheer en biodiversiteitsbehoud. Toegegeven, de voorbeelden die ik hierboven aanhaal zijn eerder exotisch van aard, maar ook voor Vlaanderen biedt de technologie heel wat perspectieven voor een efficiënter en doelgerichter natuurbeheer. In dit artikel leg ik graag uit hoe.

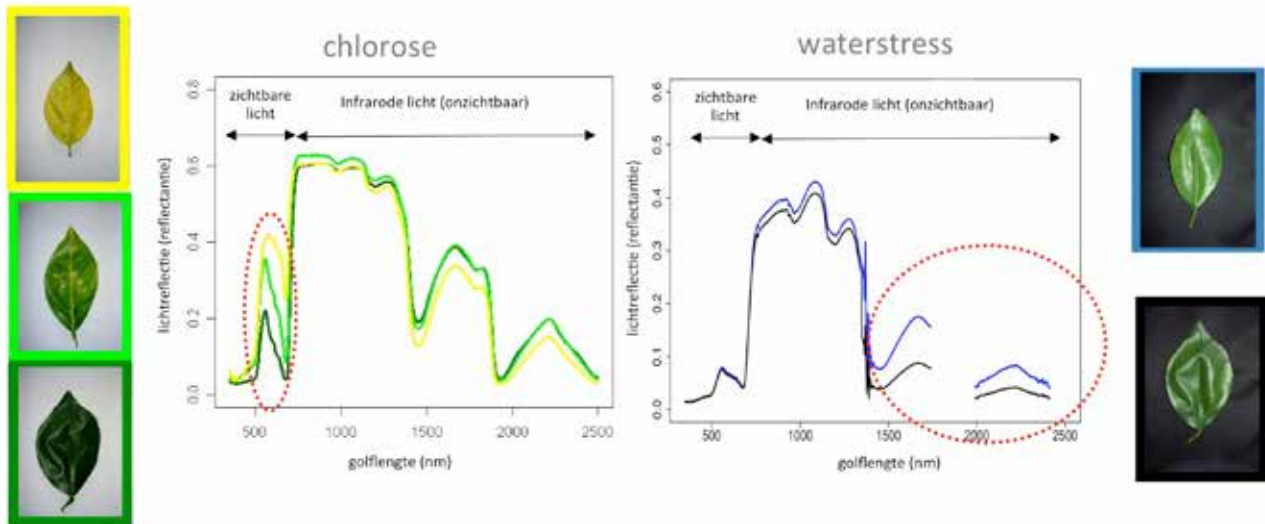
Het onzichtbare zichtbaar maken

Teledetectie of remote sensing is het waarnemen van de straling (het licht) dat door een object uitgezonden of teruggekaatst wordt. Onze ogen zijn het typevoorbeeld van een teledetectie-sensor. Ze kunnen echter enkel het zichtbare licht waarnemen. Deze beperking wordt opgeheven door het gebruik van gespecialiseerde spectrale sensoren of camera's (Verstraeten et al. 2008). Deze geavanceerde meetinstrumenten kunnen de uitgezonden of teruggekaatste straling van objecten opmeten in het visuele, nabij-infrarode, kortgolvlige en thermaal infrarode deel van het lichtspectrum. Zo maken ze het mogelijk om heel wat bijkomende informatie, met het blote oog niet waarneembaar, plots wel zichtbaar te maken. Zo wordt het zelfs mogelijk om heel wat chemische en fysische eigenschappen van objecten te kwantificeren, enkel op basis van hun spectrale respons (dit is de hoeveelheid uitgezonden en teruggekaatste straling per golflengte, zie **Figuur 1**). Zo ook bijvoorbeeld de fysiologische toestand van planten (**Figuur 1**). De concentratie aan bladpigmenten (Haboudane et al. 2002), voedingsstoffen (Asner et al. 2011), watergehalte (Serrano et al. 2010) en bladbiomassa (Delalieux et al. 2008) zijn slechts enkele van de vegetatiekenmerken die reeds succesvol werden afgeleid uit spectrale metingen. Wanneer deze sensoren of camera's gemonteerd worden op een vliegtuig of een satelliet dan bieden ze, in tegenstelling tot veldobservaties, de mogelijkheid om de fysiologische toestand van de vegetatie gebiedsdekkend en systematisch te karteren en wordt het mogelijk om ecosysteemprocessen in detail op te volgen op landschapsschaal. Zo werden recent methodes ontwikkeld om op basis van teledetectie plantensoorten (Somers & Asner 2013, **Figuur 2**), soortendiversiteit (Asner & Martin 2009), functionele diversiteit (Schmidtlein et al. 2012) en ecosysteemdiensten (Asner et al. 2010) te karteren.

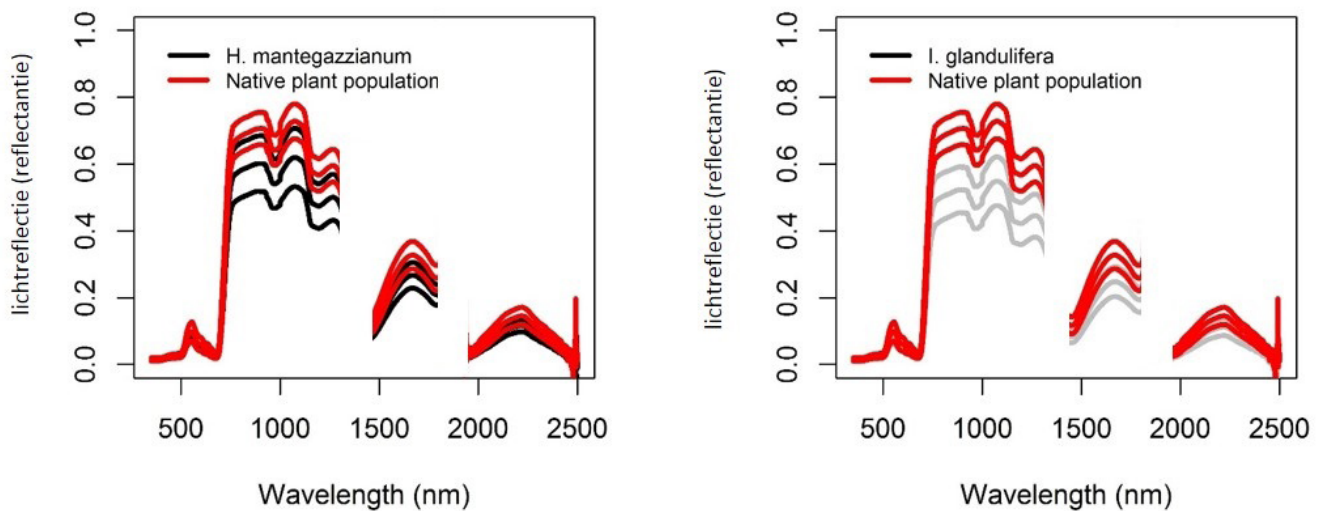
Een andere spectrale sensortechnologie die de laatste decennia grote vooruitgang heeft geboekt is LiDAR (Light Detection and Ranging). Deze vliegtuigsensoren zenden actief lichtpulsjes uit. Na interactie met het aardoppervlak wordt de gereflecteerde energie terug opgemeten en het tijdsverschil tussen emissie en detectie geeft een idee van de hoogte en expositie van objecten. Deze technologie laat dus toe om op zeer hoge resolutie (de nieuwste modellen halen een ruimtelijk detail van meer dan 10 punten per m²) een 3D beeld te genereren van de structuur en topografie van het grondoppervlak. Vegetatiehoogte, kruindimensie, stamaantal en bladbiomassa zijn variabelen die eenvoudig uit een LiDAR puntenwolk afgeleid kunnen worden (Lefsky et al. 2002, **Figuur 3**).



Multicopter drone van het labo Plantecologie van de UGent.
(©Bjorn Rombouts)



Figuur 1. Illustratie van de respons van vijf individuele bladeren van de Sinaasappelboom *Citrus sinensis*, opgemeten met een hyperspectrale sensor. In het linkse paneel worden de spectra van drie bladeren in een progressieve graad van chlorose vergeleken. De degradatie in bladpigmenten is reeds duidelijk met het blote oog waarneembaar. Inderdaad, ook in de spectrale signaturen zien we dat de verschillen tussen de bladeren tot expressie komen in het zichtbare deel van het spectrum (400-700 nm). Dit in tegenstelling tot het rechtste paneel, waar met het blote oog nauwelijks verschil op te merken is tussen beide bladeren. Maar wanneer we het gereflecteerde licht in het kortgolvlige infrarode deel van het spectrum bekijken (1.500-2.500 nm, niet voor de mens zichtbaar), is het duidelijk dat het bovenste blad (blauw) meer licht reflecteert. Dit wijst op een vroeg stadium van waterstress. Dit voorbeeld illustreert hoe spectrale sensoren toelaten om fysiologische plantkenmerken te kwantificeren.

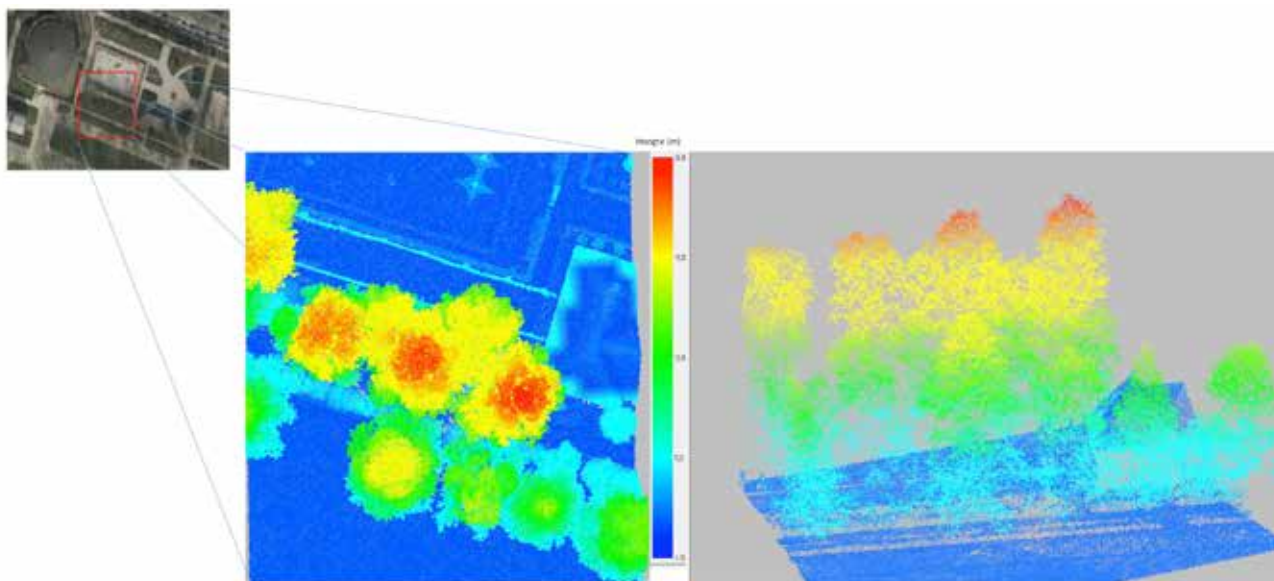


Figuur 2. Illustratie van een paarsgewijze vergelijking van de spectrale eigenschappen (gemiddelde en 95% betrouwbaarheidsinterval) van een populatie van een invasieve plantensoort (links: Reuzenberenklauw *Heracleum mantegazzianum*, rechts: Reuzenbalsemien *Impatiens glandulifera*) en een representatieve gemengde populatie van aanwezige dominante inheemse soorten (ondermeer Grote brandnetel *Urtica dioica*, Braam *Rubus fruticosus*, Riet *Phragmites australis* en Haagwinde *Convolvulus sepium*). Voor elke soort werd de spectrale respons van 25 tot 30 individuen opgemeten. In beide gevallen zijn duidelijke spectrale verschillen tussen de invasieve soort en de inheemse populatie merkbaar. Deze resultaten vormen de basis voor het ontwikkelen van een methode om de verspreiding van invasieve planten met behulp van spectrale sensoren aan boord van vliegtuigen en satellieten op te volgen en zo hun impact op het functioneren van het ecosysteem te bestuderen en in kaart te brengen (bv. Somers & Asner 2013).

Drones: naar een hogere flexibiliteit in versnipperd Vlaanderen?

Een van de grootste beperkingen van traditionele teledetectieplatformen zoals bemande vliegtuigen en satellieten is dat de spectrale signalen opgemeten worden vanop een relatief grote hoogte (enkele duizenden meters voor vliegtuigen tot honderden kilometers voor satellietensensoren). Dit heeft een

impact op het detail waarmee informatie aangeleverd kan worden. Zo kan je stellen dat vliegtuigopnames standaard een hoger(e) ruimtelijke resolutie/detail (enkele meters) en een hoger spectraal detail kunnen leveren (dit laatste bepaalt het type, het detail en de nauwkeurigheid waarmee plant- en ecosysteemeigenschappen kunnen worden afgeleid). Maar het organiseren van een vliegcampagne is geen sinecure en het is een kostelijke operatie. Zo moet je beschikken over de juiste



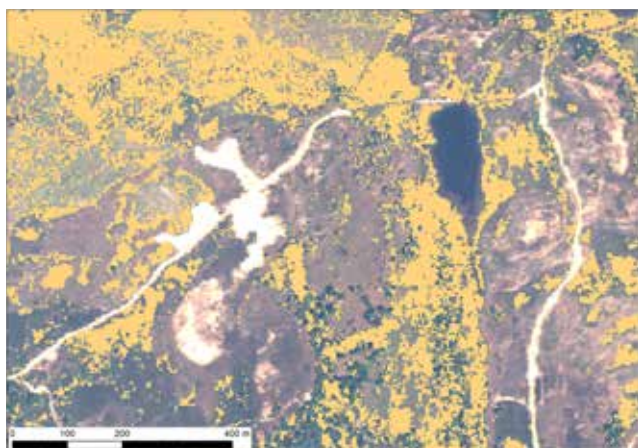
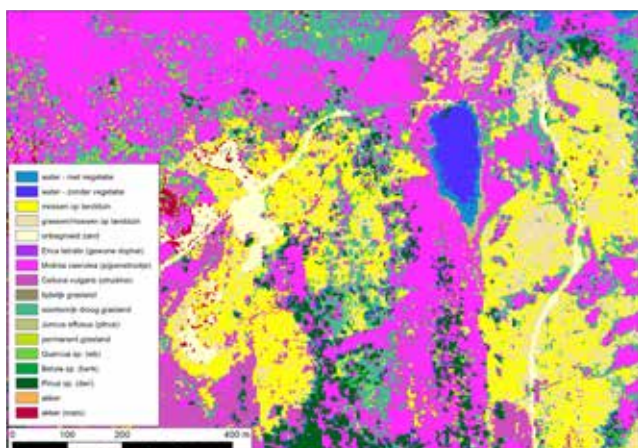
Figuur 3. In mei 2012 werd voor het volledige Brusselse gewest een vliegtuig-gebaseerde LiDAR-opmeting uitgevoerd. Hier zie je links het boven- en rechts het zijaanzicht van de LiDAR puntenwolk voor een deeltje van het Jubelpark (zie uitsnijding linksboven). De puntenwolk werd geclassificeerd op basis van de hoogte. Verdere verwerking van de puntenwolk zou toelaten om naast vegetatiehoogte ook kruindimensies, stamaantal en bladbiomassa ruimtelijk expliciet af te leiden. Deze LiDAR-puntenwolk werd ons ter beschikking gesteld door het Centrum voor Informatica voor het Brusselse Gewest (CIBG).

meetapparatuur, een aangepast vliegtuig, een volledige crew van piloten en operatoren, en moet je de nodige procedures doorlopen om toestemming te krijgen om het luchtruim te mogen gebruiken. Dit alles maakt dat operationele vluchten met bemande vliegtuigen vaak slechts een beperkt studiegebied beslaan en dat de opname slechts eenmalig of met een relatief lage temporele resolutie (bijvoorbeeld jaarlijks) kan gebeuren. Specifiek voor vegetatietoepassingen worden vluchten meestal georganiseerd tijdens de piek van het groeiseizoen. Bemande vliegtuigen zijn dan ook niet het meest geschikte platform om seizoenale processen op te volgen. Dit laatste is dan wel weer de kracht van satellietwaarnemingen, die toelaten om op regelmatige tijdstippen een beeld te vormen van grote studiegebieden (de bedekking kan gaan van lokaal, regionaal tot zelfs globale schaal). Echter, door de relatief hoge temporele resolutie en ruimtelijke bedekking moeten satellietwaarnemingen vaak inboeten op het vlak van ruimtelijk en spectraal detail. Bovendien vereisen metingen vanop bemande vliegtuigen en satellieten wolkenvrije condities. De spectrale signalen kunnen de wolken niet penetreren waardoor metingen boven een wolkendek niet mogelijk zijn.

Zowel het versnipperde Vlaamse natuurlandschap als de klimatologische omstandigheden zijn dus vaak een beperking op de beschikbare remote sensing data en de mogelijke toepassingen. Een oplossing ligt in het combineren van verschillende datatypes (data fusie). Zo kunnen eenmalige vliegtuigopnames met een hoge spectrale en spatiale resolutie gebruikt worden om de vegetatiesamenstelling te karteren terwijl satellietwaarnemingen met een hogere temporele resolutie toelaten om seizoenale processen op te volgen. Of kunnen data van verschillende satellieten gecombineerd worden om het aandeel wolkenvrije beelden tijdens het groeiseizoen te maximaliseren en alsnog seizoenale processen op te volgen. Het aanbod aan

beschikbare satellieten is enorm en blijft ieder jaar groeien. De remote sensing hardware-industrie is zeer dynamisch en technologische evoluties zorgen steeds weer voor meer gesofisticeerde sensoren en nieuwe satellietprogramma's met een steeds hogere spectrale, spatiale en temporele resolutie. Een recent voorbeeld zijn de Sentinel-2 satellieten van het Europese Ruimtevaart Agentschap ESA (www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2) die een relatief hoge ruimtelijke (10 tot 20 meter), temporele (5 dagen) en spectrale resolutie combineren en heel wat nieuwe perspectieven openen met het oog op natuurbeheer, zelfs in een versnipperd landschap zoals Vlaanderen.

Hoe dan ook, wellicht de meest in het oog springende technische evolutie van de laatste jaren op het vlak van remote sensing zijn de drones. Een drone of 'remotely piloted aircraft system' bestaat uit een camera gemonteerd op een onbemand lichtgewicht vliegtuig dat automatisch een vooraf geprogrammeerd traject aflegt en ondertussen foto's neemt of video-opnames maakt van het aardoppervlak. In tegenstelling tot de meer traditionele tele-detectie-platformen, zoals bemande vliegtuigen en satellieten, bieden drones een nooit eerder verkregen flexibiliteit. Zo kunnen ze beelden aanleveren met een ruimtelijke resolutie van enkele centimeters en staat er niet meteen een rem op het aantal vluchten dat kan uitgevoerd worden. Ook is het systeem minder afhankelijk van weersomstandigheden, drones vliegen lager dan de wolken, en zijn de meest eenvoudige drone systemen relatief eenvoudig te hanteren. De mogelijkheden van drones lijken dan ook onbeperkt. Zo zou je de technologie bijvoorbeeld kunnen inzetten voor de opvolging van vogel- of andere faunapopulaties, de technologie zou ingezet kunnen worden voor het monitoren van wildschade (www.vilt.be/drone-detecteert-everzwijnenschade-op-limburgse-velden) of het zeer gedetailleerd karteren van vegetatiepatronen die dan weer gebruikt kunnen



Figuur 4. Illustratie van het potentieel van teledetectie bij de ondersteuning van het in kaart brengen van Natura2000-habitattypen en -biotopen en de bepaling van hun lokale en regionale staat van instandhouding. Bovenaan een rood-groen-blauw weergave van een hyperspectrale vliegtuigopname met de APEX sensor (www.apex-esa.org) van 7 juli 2013. Dit beeld bedekt een deel van de Kalmthoutse Heide en werd beschikbaar gesteld binnen het kader van het STEREO programma van BELSPO. Uit dit beeld werd een kaart van Natura2000 habitattypen (middelste paneel) en een kaart met de door Pijpenstrootje *Molinia caerulea* gedomineerde delen (oranje patches in het onderste paneel) afgeleid. (Bron: INBO)

worden om beheermaatregelen te evalueren en indien nodig bij te stellen.

Maar de toepassing van drones heeft ook zijn beperkingen. Zo zijn er vooreerst technische beperkingen. De levensduur

van batterijen is bijvoorbeeld een van de praktische redenen dat vaak enkel zeer lokale opnames kunnen gemaakt worden. Verder zijn de meeste miniatuurvliegtuigjes niet uitgerust om een zwaar gewicht te dragen. De laatste jaren is dan ook heel wat ingezet op de ontwikkeling van ultralichte camera's en sensoren. Recente evoluties op dit vlak zijn fenomenaal. Naast deze technische beperkingen zitten we vandaag in Vlaanderen ook nog met juridische beperkingen. Hoewel ook hier op korte tot middellange termijn evolutie kan worden verwacht, is het gebruik van drones vandaag nog streng beperkt en enkel toegelaten voor test-, demonstratie-, wetenschappelijke en trainingsvluchten (<http://mobilit.belgium.be/nl/luchtvaart/drones>).

Naar broodnodige efficiëntiewinst bij het verwerven van beleidsrelevante informatie?

In Europa blijft het in stand houden van de biodiversiteit een prioriteit. De Habitatrichtlijn vereist de laatste decennia een monitoring die de Vlaamse overheid op zich neemt (Natura2000, www.natura2000.vlaanderen.be/). De monitoringopdracht behelst zowel het in kaart brengen van Natura2000-habitattypen en biotopen, als de bepaling van hun lokale en regionale staat van instandhouding. Op basis van deze gegevens moet iedere lidstaat om de zes jaar een evaluatierapport bezorgen aan de Europese Commissie. Deze monitoringopdracht vereist dus gebiedsdekkende informatie over de hoeveelheid, kwaliteit en trends van habitattypen, bij voorkeur zo frequent als mogelijk geüpdatet. Tot op vandaag gebeurt deze dataverzameling volledig op basis van tijdrovende en dure veldcampagnes. Om in de toekomst te kunnen blijven voldoen aan de Europese monitoringsnormen is efficiëntiewinst een absolute noodzaak en remote sensing kan hier een deel van de oplossing bieden. Onderzoek heeft namelijk aangetoond dat verschillende habitattypen een verschillende spectrale response vertonen en bijgevolg met behulp van remote sensing gekarteerd kunnen worden (Vanden Borre et al. 2011). Ook kwaliteitsindicatoren zoals verbossing, vergrassing en verruiging, leeftijdsstructuur in heidepatches en patches van invasieve planten werden reeds met succes gekarteerd op basis van remote sensing data (Delalieux et al. 2012, Spanhove et al. 2012). Dit onderzoek leidde in een grootschalig project tot een methode die het mogelijk maakt om een gedetailleerde kaart van habitattypen op te stellen met bijhorende kwaliteitsindicatoren en instandhoudingsindicatoren. De methode werd onder leiding van de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), in samenwerking met 18 Belgische en Nederlandse onderzoekers, gekalibreerd voor natuurgebied de Kalmthoutse Heide (Vanden Borre et al. 2012). **Figuur 4** toont een fragment van de habitatkaart voor de Kalmthoutse Heide en een kaart van de vergrassing met Pijpenstrootje *Molinia caerulea* zoals afgeleid uit luchtopnames. Vandaag worden inspanningen geleverd om de operationele inzetbaarheid van deze methodes verder op punt te stellen.

Door gericht gebruik te maken van remote sensing data zou het dus mogelijk zijn om het veldwerk sterk in te perken. Het ruimtelijk detail dat men bekomt met remote sensing is niet te evenaren met veldwerk en eenmaal de beeldverwerkingstechnieken



Multicopter drone van het labo Plantecologie van de UGent. (©Bjorn Rombouts)

op punt staan, is de verwerking gemakkelijk herhaalbaar, meer flexibel en objectiever dan veldmetingen. Bovendien kunnen minder toegankelijke gebieden gemonitord worden en kunnen sites frequenter gecoverd worden. Uit eenzelfde beeld kunnen met één enkele verwerking verschillende ecosysteemeigenschappen afgeleid worden. Het vogelperspectief laat in sommige gevallen ook toe om ruimtelijke informatie af te lijnen die vanop de grond moeilijk te observeren valt, zoals bijvoorbeeld de horizontale structuur van bossen. Tot slot, een niet te onderschatten meerwaarde van remote sensing producten is dat, in tegenstelling tot de meeste veldcampagnes, een kwantitatieve inschatting kan gemaakt worden van de nauwkeurigheid van de resultaten. Als je bovendien bedenkt dat een karteersnelheid van 10 à 20 ha per mandag gangbaar is voor veldopnames (exclusief gemiddeld 1 dag bureauwerk per dag veldwerk voor data-invoer en –controle) (persoonlijke communicatie INBO) en dat een standaard dronevlucht in 45 minuten 100 tot 150 ha covert, en dat een satellietbeeld van nagenoeg heel Vlaanderen via enkele muisklikken op je desktop kan verschijnen, dan is de rekening snel gemaakt. Hierbij wel de opmerking dat het ontwikkelen van beeldverwerkingsprotocollen ook tijd vergt, maar eenmaal ze op punt staan verlopen ze nagenoeg automatisch.

Hoe dan ook, het kan nooit de bedoeling zijn om het veldwerk volledig te vervangen. Integendeel, de meeste experts pleiten voor het inzetten op de complementariteit van beide datatypes, waarbij remote sensing producten de veldcampagnes ondersteunen en ruimtelijk sturen om zo finaal te komen tot een meer efficiënte, nauwkeurige en gebiedsdekkende dataverzameling.

Een bijkomend instrument voor de ondersteuning, evaluatie en de ruimtelijke optimalisatie van het beheer?

Soortenrijkdom, functionele diversiteit, verspreiding van dominante plantensoorten, verspreiding van invasieve planten, kwantitatieve informatie over nutriëntenstocks in het bladerdek, bovengrondse biomassa en een generisch beeld van de gezondheid van vegetatie. Zoals eerder aangegeven zijn dit allemaal plant- en ecosysteemeigenschappen die afhankelijk van de gebruikte sensor-platform combinatie via remote sensing gekarteerd kunnen worden. Maar nog belangrijker: het zijn ook stuk voor stuk indicatoren relevant voor het ondersteunen van beheerbeslissingen. Voor beheerders van natuurreservaten kan dit kaartmateriaal een relevante bijkomende bron van informatie zijn die samen met hun veldobservaties en veldexpertise kunnen gebruikt worden ter ondersteuning, evaluatie en ruimtelijke optimalisatie van hun dagelijks beheer. Door een koppeling te maken tussen het bewegingspatroon van grazers (opgevolgd met behulp van GPS halsbanden) en gedetailleerde vegetatiekaarten opgemaakt op basis van gespecialiseerde camera's aan boord van vliegtuigen of satellieten, zou het begrazingsbeheer binnen natuurreservaten geoptimaliseerd kunnen worden. Kennis over het begrazingsgedrag gekoppeld aan frequent geüpdatete ruimtelijk expliciete gegevens over plantendiversiteit, bovengrondse biomassa en vegetatiestructuur afgeleid uit remote sensing data zouden ons niet alleen inzicht geven in het gedrag van grazers alsook hun impact op de biodiversiteit vergroten, maar tevens toelaten een onderbouwde

beslissing te nemen over een optimaal ruimtelijk begrazingsplan met het oog op verbetering/in stand houden van de biodiversiteit. Geheel onder het motto 'meten is weten', is dit slechts een van de vele voorbeelden van de potentiële meerwaarde van remote sensing om in combinatie met bestaande databronnen het effect van beheermaatregelen op te volgen, te evalueren en zo nodig beheerplannen aan te passen.

Tot slot wil ik even de oversteek maken naar het stedelijk en verstedelijkte Vlaanderen. Vlaanderen is stilaan uitgegroeid tot een 'nevelstad' waar de grens tussen stad en buitengebied bijzonder klein is geworden (Hermy et al. 2005). We ervaren met zijn allen steeds meer en steeds frequenter dat milieuproblemen, zoals vervuiling en klimaatverandering, alsook de daaraan gekoppelde gezondheidsproblemen, in dichtbevolkte gebieden steeds pertinent worden. Om de leefbaarheid van steden vandaag en in de toekomst te vrijwaren, is een duurzaam stadsbeleid dan ook meer dan ooit aan de orde. En ook hier bieden recente ontwikkelingen in teledetectie-technologie en spectrale sensoren belangrijke perspectieven. Denk hierbij onder meer aan het optimaliseren van groen-blauwe netwerken, het monitoren

van de gezondheid van stadsbomen en het optimaliseren van regulerende ecosysteemdiensten van stedelijk groen (stofvang, warmte- en waterregulatie).

Onbekend maakt onbemind?

Het mag dus duidelijk zijn dat remote sensing een waardevol instrument kan zijn bij het vastleggen van beheerprioriteiten en bij de ontwikkeling en implementatie van beheerplannen. Maar al te vaak stel ik vast dat de schijnbare complexiteit van teledetectiedata en beeldverwerking ontmoedigend werkt voor ecologen en beheerders. Bovendien zijn ecologen en beheerders niet of onvoldoende op de hoogte van de beschikbare data en hun mogelijkheden of hebben ze geen toegang tot de nodige software of knowhow. Omgekeerd zijn remote sensing experts vaak niet volledig vertrouwd met de ecologie van het te bestuderen studiegebied en leveren bijgevolg producten en methodes op die niet altijd optimaal afgestemd zijn op de noden van ecologen en beheerders. Hoog tijd dus om elkaar wat beter te leren kennen en samen te werken aan een meer efficiënt natuurbeheer.

SUMMARY

Somers B. 2016. An aerial view of nature management. About the role of remote sensing as an instrument for biodiversity conservation. *Natuur.focus* 115(3): 108-113. [in Dutch]

This article is meant to introduce remote sensing technology to ecologists and nature conservation practitioners in Flanders. Besides introducing the basics of the technology, meanwhile providing a SWOT analysis, the article tries to provide a generic overview of the potential applications for biodiversity science and conservation. The author makes a plea for the integration of remote sensing in current monitoring protocols and gives illustrations on how such an integration could contribute to a more efficient, accurate and generic data collection strategy better supporting conservation policy and management.

DANK

Met dank aan Jeroen Vanden Borre, Jeroen Degerickx, Wouter Maes, Bjorn Rombouts, Veerle Herssens, Wanda De Keersmaecker, Olivier Honnay, het Centrum voor Informatica voor het Brusselse Gewest, het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, het labo Plantecologie van de UGent en BELSPO voor het aanleveren van en bijdragen tot het illustratief materiaal.

AUTEUR

Ben Somers is docent aan de Faculteit Bio-Ingenieurswetenschappen van de KU Leuven en hoofd van de onderzoeksgroep Remote Sensing en Terrestrische Ecologie. Zijn groep bestudeert de rol, vitaliteit en stabiliteit van plantensoorten en hun gemeenschappen in (peri-)urbane en semi-natuurlijke omgevingen. De meest recente ontwikkelingen in remote sensing technologie worden ingezet om vegetatieve processen te kwantificeren op landschapsschaal.

CONTACT

Ben Somers, Departement Aard- en Omgevingswetenschappen, Afdeling Bos, Natuur en Landschap, KU Leuven, Celestijnenlaan 200E, 3001 Leuven

E-mail: ben.somers@kuleuven.be

REFERENTIES

- Asner G.P., Martin R.E. 2009. Airborne spectranomics. Mapping canopy chemical and taxonomic diversity in tropical forests. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 269-276.
- Asner G.P., Martin R.E., Knapp D.E. et al. 2010. Effects of *Morella faya* tree invasion on aboveground carbon storage in Hawaii. *Biological Invasions* 12: 477-494.
- Asner G.P., Martin R.E., Knapp D.E. et al. 2011. Spectroscopy of canopy chemicals in humid tropical forests. *Remote sensing of Environment* 115: 3587-3598.
- Delalieux S., Somers B., Hereijgers S. et al. 2008. A near-infrared narrow-waveband ratio to determine Leaf Area Index in orchards. *Remote sensing of Environment* 112: 3762-3772.
- Delalieux S., Somers B., Haest B., Spanhove T., Vanden Borre J. & Mûcher C.A. 2012. Heathland conservation status mapping through integration of hyperspectral mixture analysis and decision tree classifiers. *Remote sensing of Environment* 126: 222-231.
- Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N. et al. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote sensing of Environment* 81: 416-426.
- Hermy M., Schauwvlieghe M. & Tijskens G. 2005. Groenbeheer, een verhaal met toekomst. Velt in samenwerking met afdeling Bos & Groen.
- Lefky M.A., Cohen W.B., Parker G.G., et al. 2002. LiDAR remote sensing for ecosystem studies. *Bioscience* 52: 19-30.
- Schmidtlein S., Feilhauer H., Brulleheide H. 2012. Mapping plant strategy types using remote sensing. *Journal of Vegetation Science* 23: 395-405.
- Serrano L., Ustin S.L., Roberts D.A. et al. 2000. Deriving water content of chaparral vegetation from AVIRIS data. *Remote sensing of Environment* 74: 570-581.
- Somers B. & Asner G.P. 2013. Invasive species mapping in Hawaiian rainforests using multi-temporal Hyperion spaceborne imaging spectroscopy. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote sensing* 6: 351-359.
- Spanhove T., Vanden Borre J., Delalieux S., Haest B. & Paelinckx D. 2012. Can remote sensing estimate fine-scale quality indicators of natural habitats? *Ecological Indicators* 18: 403-412.
- Ustin S.L., Gamon J.A. 2010. Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist* 186: 795-816.
- Vanden Borre J., Paelinckx D., Mûcher C.A., Kooistra L., Haest B., De Blust G. et al. 2011. Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring. Prospects on the way forward. *Journal for Nature Conservation* 19: 116-125.
- Vanden Borre J., Spanhove T. & Paelinckx D. 2012. Kalmthoutse heide in kaart gebracht vanuit de lucht. In Koen Van Muylen K. (ed.) 2011. Jaarverslag 2011. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Verstraeten W.W., Somers B., Delalieux S., Aerts W., Vandenbosch G.A.E. & Coppin P. 2008. Vlaamse ogen en oren in de ruimte sturen plantproductiesystemen. *Het Ingenieursblad, Maandblad van de Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging* 8-9, 20-24.