

kunnen opleveren maar niet worden beïnvloed door de omgeving, betekenden de doodsteek voor het lamarckisme. Maar hoe zit het dan met de radijzen van Tollrian? Ondertussen is duidelijk geworden dat het aan- of uitschakelen van de activiteit van genen kan worden doorgegeven aan het nageslacht zonder dat daarbij de DNA-code verandert. De overerfbare positie van bepaalde moleculen rondom het DNA (methylgroepen, nucleosomen) bepalen welke delen actief zijn. Dit heet epigenetische informatie. Deze evolueert sneller dan het meer stabiele DNA en kan worden beïnvloed door de omgeving waarin een plant of dier opgroeit. Op die manier kan overerfbare informatie veranderen in een reactie op de omgeving en de heersende selectieve druk. Zo kunnen genen die verantwoordelijk

zijn voor de productie van glucosinolaat in radijsjes worden aangezet en doorgegeven aan een volgende generatie. (Verstrepn 2008). Lamarck gniffelt ongetwijfeld vanuit zijn graf. Vanwege het beknopte karakter van elke Vanonder het Mos zijn, in weerwil van het voorgaande, niet alle eigenschappen van slimme en gevoelige planten, waaronder hun reactie op muziek, in deze bijdrage aan bod gekomen. Maar wat niet is, kan nog komen.

Meer info: [hans@miradal.com](mailto:hans@miradal.com)

### Referenties

[www.bosplus.be](http://www.bosplus.be) > Kenniscentrum > Publicaties > Bosrevue



## vdSande

*bosbouw en natuurbeheer*

Uw specialistische partner in  
bosbeheer en ecologie:

- *Inventarisaties*
- *Bosbeheerplannen*
- *Beheervisies en inrichtingsplannen*
- *Aanwijzen dunningen en bosverjonging*
- *Houtverkoop en begeleiding bosexploitatie*
- *Vorbereiding en begeleiding maatregelen:  
aanplant, inboet, prunusbestrijding, plaggen, etc...*

Hoekvensedreef 6a | 4722 SC | Schijf | Nederland  
Telefoon: +31 (0)6 3069 0338 | [gij.vd.sande@bosennatuur.eu](mailto:gij.vd.sande@bosennatuur.eu)  
[www.bosennatuur.eu](http://www.bosennatuur.eu)

### Tabellen bij het artikel over hyperspectrale remote sensing (pag. 13-15).



Tabel 2: Aantal HS-indices die in staat zijn om voor bladverkleuring een onderscheid aan te tonen op het 5% significantieniveau

BLADVERKLEURING	Wijnendalebos		Zoniënwoud	
	beuk	beuk + eik	eik	beuk + eik
Gezond vs. minder vitaal	0	5	2	3
Gezond vs. risico	0	1	0	4
Gezond vs. abnormaal verkleurd	0	14	0	1
Risico vs. abnormaal verkleurd	0	11	0	0

Tabel 3: Aantal HS-indices die in staat zijn om voor bladverlies een onderscheid aan te tonen op het 5% significantieniveau

BLADVERLIES	Wijnendalebos		Zoniënwoud	
	beuk	beuk + eik	eik	beuk + eik
Gezond vs. licht tot sterk bladverlies	0	0	4	2
Gezond vs. risico	0	0	0	1
Gezond vs. beschadigd	0	2	5	0
Risico vs. beschadigd	0	4	0	1

# Kan hyperspectrale remote sensing gebruikt worden voor vitaliteitsbepaling van individuele bomen?

## Een verkennend onderzoek

Na een conventie van de VN over grensoverschrijdende luchtverontreiniging wordt sinds 1987 de vitaliteit van bossen in Vlaanderen opgemeten door het INBO in het kader van ICP Forests (Fischer et al. 2012; <http://icp-forests.net/>). Dat gebeurt door jaarlijks in het veld de vitaliteit te beoordelen van een aantal bomen in vaste proefvlakken. Binnen het HyperForestproject gingen we na in hoeverre het mogelijk is om deze beoordelingen te doen via hoge resolutie hyperspectrale beelden.

### Inleiding

Omdat er geen directe maat bestaat om de vitaliteit van bomen te meten, wordt deze meestal beschreven aan de hand van twee stressindicatoren: bladverlies en bladverkleuring (Gehrig 2004). Deze indicatoren worden via veldwaarnemingen ingeschat. Deze veldcampagnes zijn echter zeer arbeidsintensief, omdat elk proefvlak elk jaar opnieuw moet worden bezocht en beoordeeld. Bovendien zijn in situ vitaliteitsbeoordelingen onderhevig aan de subjectiviteit van de waarnemer, gezien de evaluaties gebeuren op basis van visuele interpretaties, waardoor intensieve trainingen en kalibraties nodig zijn (Dobbertin 2005). Indien vitaliteitsevaluaties via remote sensing zouden kunnen gebeuren dan zou dit een tijd- en kostenefficiënt alternatief kunnen zijn (Cho et al. 2009). Daarbij wordt vertrokken van het principe om stress (als maat voor verminderde vitaliteit) te meten via het spectraal responspatroon (het 'kleurenspectrum' zou je kunnen zeggen) van de boomkruinen. Gezonde en gestresseerde bomen hebben namelijk een duidelijk verschillende spectrale respons door een dalende chlorofyl- en waterinhoud van de kruin wanneer een boom zich in een stresssituatie bevindt (Zarco-Tejada et al. 2004). Variaties in de chlorofyl- of waterinhoud van het blad maken het dus mogelijk om via remote sensing gestresseerde bomen in kaart te brengen (Zarco-Tejada et al. 2004). Binnen het HyperForest project werd onderzocht hoe je met nieuwe remote sensing technologieën<sup>1</sup> kenmerken van bossen en bomen, zoals stamtaal, boomhoogte, boomsoort en vitaliteit, in kan schatten (zie ook Bosrevue 42, Devriendt et al. 2012a). Dit artikel gaat in op het aspect bosvitaliteit. We gaan na of we uit de remote sensing data een aantal waarden (indices) kunnen afleiden die als maat kunnen dienen voor het beoordelen van bladverlies en -verkleuring, om zo een onderscheid te maken tussen gezonde en minder vitale bomen.

MARIE-LEEN VERDONCK, FRIEKE VAN COILLIE, KRIS VANDEKERKHOVE, PIETER KEMPENEERS & ROBERT DE WULF (Universiteit Gent)

### Proefopzet

#### — Objectief

Voor deze studie werd gebruik gemaakt van LiDAR en hyperspectrale (HS) beelden opgenomen door sensoren aan boord van een bemand vliegtuig boven geselecteerde zones van het Zoniënwoud en het Wijnendalebos. Deze beelden hebben een zeer hoge grondresolutie (1 m). Door deze gegevens, en ervan afgeleide waarden (zogenaamde 'HS-indices') te confronteren met veldmetingen van vitaliteit werd nagegaan in hoeverre het mogelijk is om vitaliteitsvermindering via deze remote sensing data met voldoende nauwkeurigheid te detecteren.

#### — Veldmetingen van vitaliteit

De inventarisatie van de gezondheidstoestand van de bossen ging in Vlaanderen in 1987 van start in navolging van een conventie van de VN over grensoverschrijdende luchtverontreiniging. Het onderzoek kadert in het internationale samenwerkingsprogramma van de Verenigde Naties, het ICP Forests (*International Cooperative Programme on the Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests*). In 2013 beschikte Vlaanderen over een bosvitaliteitsmeetnet met 8 internationale (ICP Forests) en 63 regionale proefvlakken (Sioen en Roskams 2014). De monitoring van deze proefvlakken wordt uitgevoerd door het INBO waarbij zowel bladverlies als -verkleuring gescoord worden in stappen van 5%. De gegevens voor bladverlies worden ingedeeld in 5 schadeklassen. Bomen met 0% tot 10% bladverlies zijn gezond. Vanaf 11% tot 25% bladverlies bevinden de bomen zich in een risico- of waarschuwingssklasse. Bomen die een bladverlies van 26% tot 60% vertonen, worden ingedeeld bij de matig beschadigde bomen en indien de beschadiging nog verder is geëvolueerd, spreekt men van sterk beschadigde bomen. Bij 100% bladverlies wordt een boom als dood geklasseerd (Sioen et al. 2009). Voor de kroonparameter bladverkleuring spreekt het INBO van een *abnormale verkleuring* wanneer meer dan 10% verkleuring optreedt (Sioen et al. 2009). Voor dit onderzoek introduceerden we zelf een extra schadeklasse. De klasse zonder abnormale verkleuring splitsten we verder op in *gezond* (bladverkleuring van 0%) en *risico* (bladverkleuring van 1% tot 10%). Hoewel het INBO deze klassen niet definieert, kozen wij ervoor om dat hier wel te doen in functie van de uniformiteit en overzichtelijkheid van de resultaten.

1 Voor meer en uitgebreide informatie over het HyperForest project en de gebruikte technologieën zoals hyperspectrale en LiDAR remote sensing verwijzen we naar een voorgaand artikel uit Bosrevue 42: Mogelijkheden van nieuwe aardobservatietechnieken voor het bosbeheer in Vlaanderen.

Voor Wijnendalebos gebruikten we de vitaliteitsgegevens uit het regionale proefvlak, aangevuld met vitaliteitscores van specifiek gekozen bomen om een betere spreiding te verkrijgen over de verschillende boomsoorten en schadeklassen. In het Zoniënwood viel het regionaal proefvlak helaas buiten het hyperspectrale beeld. Daarom werd in Zoniën doelgericht de vitaliteit gescoord voor geselecteerde bomen uit de steekproefcirkels van het monitoringnetwerk van de Vlaamse bosreservaten. Voor dit onderzoek werden enkel de waarnemingen voor beuk en eik gebruikt, wat het totaal aantal bomen voor Wijnendalebos en Zoniënwood respectievelijk op 68 en 49 bomen brengt. Alle bomen werden ruimtelijk nauwkeurig gepositioneerd m.b.v. van de Fieldmap™-technologie. Tabel 1 toont de verdeling van de waarnemingen over de verschillende schadeklassen. Uit deze tabel blijkt onmiddellijk dat de waarnemingen niet optimaal gespreid zijn over de verschillende schadeklassen. Bijgevolg werd bladverlies enkel bij beuk geanalyseerd. Voor bladverkleuring werden analyses uitgevoerd voor beuk in Wijnendalebos en eik in Zoniënwood. Voor beide studiegebieden werden beuk en eik ook samengevoegd en gecombineerd geanalyseerd (Devriendt et al. 2012b).

#### Vitaliteitsbeoordeling m.b.v.

#### hyperspectrale remote sensing

Hyperspectrale sensoren registreren gereflecteerd zonlicht in veel smalle spectrale banden ('kleuren') in het zichtbare, nabij-infrarode en midden-infrarode licht (Govender et al. 2007). In tegenstelling tot multispectrale beelden met klassiek slechts een vijf- tot tiental spectrale banden, beschikken HS-beelden over veel meer spectrale kanalen. Bij het HS-beeld in deze studie waren dat er 301. HS-gegevens leveren dus meer gedetailleerde informatie over de spectrale eigenschappen van een grondobject en laten een preciezere identificatie en discriminatie toe. Het is de kunst om uit die veelheid aan informatie die banden te selecteren en met mekaar te combineren tot HS-indices die de beste informatie geven om vitaliteitsvermindering te detecteren. Bij de selectie van deze HS-indices was het belangrijk om rekening te houden met het feit dat indices meestal zijn ontwikkeld voor specifieke doeleinden en niet automa-

tisch goede resultaten geven wanneer ze op andere boomsoorten of standplaatsen gebruikt worden (Le Maire et al. 2004; Zhang et al. 2008). In eerste instantie leverde een nauwgezet literatuuronderzoek een lijst met 19 mogelijk bruikbare HS-indices op. Vervolgens selecteerden we via statistische analyse die HS-indices die het best geschikt zijn om gezonde van minder vitale bomen te onderscheiden. Dit gebeurde op basis van een one-way ANOVA test met de veldwaarnemingen als referentiemateriaal.

#### Koppeling van veldmetingen aan remote sensing data

Om op individueel boomniveau de koppeling te kunnen maken tussen de veldgegevens en de remote sensing data, werden beide datasets eerst ruimtelijk aan elkaar gekoppeld en werden de zon-geëxposeerde kroondelen van de gescoorde bomen uit de veldcampagne manueel afgelijnd (Fig. 1). Hiervoor gebruikten we o.a. het zeer gedetailleerd vegetatiehoogtemodel dat werd gegenereerd uit een hoge resolutie LiDAR puntenwolk. LiDAR (Light Detection And Ranging) is een soort 'sonar' die actief lichtpuls uitstuurt en die na interactie met het aardoppervlak de gereflecteerde energie terug opmeet. Het tijdsverschil tussen emissie en detectie geeft een idee van de hoogte en expositie van objecten, zodat op basis van de LiDAR puntenwolk een vegetatiehoogtemodel kan worden opgebouwd (Lefsky et al. 2002). Zo'n vegetatiehoogtemodel is een raster dat informatie bevat over de hoogte van de bovenste laag van het bos. Daardoor wordt het mogelijk om individuele boomkruinen beter te onderscheiden. Aangezien het van groot belang is dat er geen vermenging van verschillende boomsoorten en boomindividuen optreedt bij het aflijnen van de kroonobjecten die voor onze analyses worden gebruikt, werden deze objecten manueel iets kleiner afgelijnd dan zichtbaar op het vegetatiehoogtemodel (VHM) en de LiDAR puntenwolk (Fig. 1). Per kroonobject werden vervolgens de HS-indices berekend, en geconfronteerd met de resultaten van de veldcampagne. Via statistische analyse werd vervolgens nagegaan welke indices toelaten om met een voldoende hoge betrouwbaarheid verschillen in bladverlies- en verkleuring te detecteren.

**Tabel 1: Gegevens over bladverlies en -verkleuring in het Wijnendalebos en het Zoniënwood, de kolommen weergegeven in lichtgrijs werden enkel in combinatie met andere kolommen gebruik. Tabel 2 en 3: zie p. 12**

%	Schade klassen	Bladverlies						%	Schade klassen	Bladverkleuring					
		Wijnendale			Zoniën					Wijnendale			Zoniën		
		beuk	eik	b + e	beuk	eik	b + e <sup>2</sup>			beuk	eik	b + e	beuk	eik	b + e
0-5	Gezond	11	0	11	3	0	3	0	Gezond	39	2	41	23	10	32
6-10		13	1	14	3	2	5	6-10		Risico	13	4	17	0	6
11-15	Risico	19	0	19	3	12	15	11-15	Abnormaal verkleurd	2	3	5	1	3	4
16-20		8	6	14	5	6	11	16-20		0	1	1	0	3	3
21-25		3	2	5	4	3	7	21-25		0	0	0	0	0	0
26-30		1	0	1	1	1	2	26-30		0	1	1	0	0	0
31-35	Matig beschadigd	0	3	3	2	1	3	31-35	0	0	0	0	0	0	
36-40		0	1	1	2	0	2	36-40	0	1	1	0	0	0	
46-60		0	0	0	0	0	0	46-60	0	0	0	0	0	0	
61-99	Sterk beschadigd	0	0	0	1	0	1	61-99	0	0	0	0	0	0	
100	Dood	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	
	Totaal	55	13	68	24	25	49		Totaal	55	13	68	24	25	49

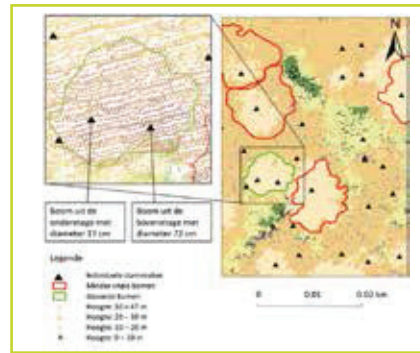


## Resultaten

Uit de resultaten voor de individuele boomsoorten bleek dat in het Zoniënwoud wel onderscheidende HS-indices konden worden aangeduid voor bladverlies en bladverkleuring, terwijl dit in Wijnendalebos niet mogelijk was (Tabellen 2 & 3, p. 12). Wanneer de waarnemingen van eik en beuk gecombineerd werden, konden voor beide studiegebieden wel onderscheidende indices geselecteerd worden (Tabellen 2 & 3, p. 12). Dit was voornamelijk een gevolg van de aanwezige spreiding van de waarnemingen over de verschillende schadeklassen; voor beide studiegebieden verbeterde de spreiding namelijk wanneer de waarnemingen van beuk en eik werden samengevoegd (Tabel 1). Ondanks het lager aantal waarnemingen in het Zoniënwoud waren ze beter verdeeld over de verschillende schadeklassen en kon een beter onderscheid gemaakt worden tussen gezonde en minder vitale bomen. We kunnen besluiten dat het wel degelijk mogelijk is om via hyperspectrale data verschillen in vitaliteit te detecteren, op voorwaarde dat er voldoende referentiemetingen zijn die bovendien goed verdeeld zijn over de verschillende relevante schadeklassen. In onze verkennende studie was dit niet altijd het geval, mede omdat bepaalde schadeklassen in de proefsites te weinig aanwezig waren. Een tweede belangrijke vaststelling is dat een HS-index die in een welbepaalde proeflocatie goede resultaten oplevert niet noodzakelijk bruikbaar is in een ander proefgebied (andere locatie, vliegtijdstip, boomsoort). We raden dan ook af om zomaar HS-indices van één testlocatie over te nemen voor een andere.

## Toepassingsmogelijkheden

Ondanks de beperkingen van deze verkennende studie denken we te mogen stellen dat in het gebruik van HS-indices voor vitaliteitsbeoordeling wel toekomst zit. Voor gebieden waarvoor uitgebreide en ruimtelijk ingemeten boomgegevens beschikbaar zijn (maar geen vitaliteitsgegevens) wordt het mogelijk om, via gerichte vitaliteitsbeoordelingen van een beperkt aantal bomen (maar met een brede vitaliteitsrange) via de HS-indices voor alle bomen uit deze inventaris vitaliteitscores toe te kennen. In Fig. 2 is een voorbeeld te zien van deze toepassing voor de kernvlakte en een aantal proefvlakken van de bosreservatenmonitoring in het Zoniënwoud. Op basis van deze methode kan de gezondheidstoestand voor het volledige bosbestand gevisualiseerd worden. Deze snelle en gemakkelijke werkwijze zou bosbeheerders zeer snel een idee kunnen geven over de vitaliteit van een bosbestand en waar indien nodig maatregelen getroffen moeten worden. Eenzelfde toepassing moet ook mogelijk zijn voor laan- en parkbomen of hoogstamboomgaarden: ook die bomen zijn vaak goed geïnventariseerd (locatie, soort), zodat ook hier beperkte veldmetingen van de vitaliteit via HS-indices kunnen worden geëxtrapoleerd. Op termijn wordt het misschien zelfs mogelijk om nog robuustere indices te bepalen, die toelaten om voor nog ruimere gebieden de vitaliteit tot op het niveau van individuele bomen te bepalen, en waarbij steeds minder veldmetingen noodzakelijk zijn.



Figuur 1: Illustratie van de aflijning van de individuele boomkruinen op basis van de gemeten hoogte van de punten in de LiDAR puntenwolk en de omliggende boomkronen.



Figuur 2: Voorbeeld van een classificatieresultaat voor het bladverlies bij beuk in het Zoniënwoud op basis van een HS-index en zijn drempelwaarden. Met een groter aantal waarnemingen in de relevante schadeklassen zouden de drempelwaarden nog fijner kunnen afgesteld worden en zou de vitaliteitsbeoordeling nauwkeuriger kunnen zijn.

## Conclusies

Met dit verkennend onderzoek gingen we na of remote sensing kan ingezet worden om, op het niveau van individuele bomen, gezonde bomen van minder vitale bomen te onderscheiden in twee studiegebieden in Vlaanderen. Gezien het beperkt aantal in situ vitaliteitsmetingen, en vooral de onevenwichtige spreiding van deze data over de verschillende schadeklassen per studiegebied en per boomsoort was dit geen evidentie. Niettemin bleek het voor die boomsoorten waar voldoende waarnemingen met evenwichtige spreiding beschikbaar waren, wel degelijk mogelijk om een betrouwbare opsplitsing te maken tussen verschillende schadeklassen. Deze werkwijze biedt dus zeker potentieel. Een verdere exploratie van deze mogelijkheden, via uitgebreidere experimenten met een grotere velddataset en betere spreiding over de schadeklassen is dan ook wenselijk.

## Dankwoord

Dank aan het vitaliteitsmonitoringteam en het bosreservatenmonitoringteam van INBO voor het ter beschikking stellen van hun gegevens en aanvullend scores en inmeten van bomen in functie van dit onderzoek. Dank ook aan Geert Sioen (INBO) voor het nalezen van dit artikel.

## Referenties

[www.bosplus.be](http://www.bosplus.be) > Kenniscentrum > Publicaties > Bosrevue