

MIT-haarbaarheidsproject
Topsector: Logistiek
Thema: Duurzame ketensamenwerking

Bepaling van lokaal biomassapotentieel met de puntenwolk van het Actueel Hoogtebestand Nederland 3



RAPPORT

221

OPDRACHTGEVER

RVO

AUTEURS

Corjan Nolet
Nico Splethof

DATUM

December 2020

Bepaling van lokaal biomassapotentieel met de puntenwolk van het Actueel Hoogtebestand Nederland 3

MIT-haarbaarheidsproject

Topsector: Logistiek

Thema: Duurzame ketensamenwerking

FutureWater Rapport 221

Opdrachtgever

Rijksdienst van Ondernemend Nederland (RVO)

Auteurs

Corjan Nolet – GIS & remote sensing expert (c.nolet@futurewater.nl)

Nico Spliethof – Adviseur bosbeheer & geo-informatie (nico@borgmanbeheer.nl)

Datum

December 2020

FutureWater

ADDRESS

FutureWater B.V.
Costerweg 1V
6702 AA Wageningen
The Netherlands

TELEPHONE

+31 317 460 050

WEBSITE

www.futurewater.eu

Project details

De Mkb-innovatiestimulering Regio en Topsectoren (MIT) regeling is in 2015 van start gegaan en heeft als doelstelling:

Innovatie bij het midden- en kleinbedrijf over regiogrenzen heen te stimuleren.

In samenwerking met Borgman Beheer heeft FutureWater in 2020 een voorstel ingediend voor deze MIT-regeling voor het instrument haalbaarheid met de titel:

Bepaling van lokaal biomassapotentieel met de puntenwolk van het Actueel Hoogtebestand Nederland 3

Op 8 mei 2020 heeft de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland besloten subsidie te verlenen aan FutureWater voor dit project. Administratieve details zijn:

- Topsector: Logistiek
- Thema: Duurzame ketensamenwerking
- Looptijd: 15-05-2020 t/m 10-09-2020
- Referentienummer: MITHLB20-00148020

Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van het uitgevoerde haalbaarheidsproject.

FutureWater waardeert de financiële ondersteuning die ontvangen is van RVO voor het uitvoeren van dit haalbaarheidsproject.

Inhoud

Project details	3
1 Introductie	6
1.1 Aanpak en aansluiting bij de topsector	6
1.2 Beschrijving vervolgproject	6
1.3 Samenwerking	7
1.4 Economisch perspectief en marktpotentie	7
2 Economische haalbaarheid	8
2.1 Marktverkenning en concurrentieanalyse	8
2.2 Kosten-baten analyse	8
2.2.1 Concurrerende diensten:	10
2.3 Kansenkaart	11
3 Technische haalbaarheid	13
3.1 Beschikbare publieke informatiebronnen	13
3.1.1 Luchtfoto's	13
3.1.2 Satellietbeelden	14
3.1.3 Actueel Hoogtebestand Nederland	15
3.2 Beeldclassificatie met <i>machine learning</i> technieken	17
3.2.1 Typen beeldclassificatie	17
3.2.2 Random Forest classificatie	18
3.3 Biomassabepaling	19
4 Experimentele ontwikkeling	20
4.1 Prototype ontwikkeling	20
4.1.1 Data inputs	20
4.1.2 Segmentatie algoritme	21
4.1.3 Random Forest classificatie	22
4.2 Dashboard voor eindgebruiker	24
5 Conclusie	25

Tabellen

Tabel 1: Kosten-batenanalyse I	9
Tabel 2: Kosten-batenanalyse II	9
Tabel 3: Verbruikers van houtige biomassa per regio	12
Tabel 4: Training data als input Random Forest classificatie	22

Figuren

Figuur 1. De potentieel beschikbare biomassa en de verwerkers van biomassa.	11
Figuur 2. Luchtfoto's beschikbaar via Google Earth Pro	13
Figuur 3. RGB, Infrarood en NDVI orthomosaic van Nederland, beschikbaar gesteld door PDOK	14
Figuur 4. Optische hoge resolutie satelliet data verkrijgbaar via satellietdataportaal	14
Figuur 5. Web viewer van het satellietdataportaal voor optische data	15
Figuur 6. Principe van laseraltimetrie vanuit vliegtuigen	16
Figuur 7. Pixel-based vs object-based classificatie	18
Figuur 8. Diagram van een Random Forest algoritme	19
Figuur 9. Kooiberg AHN3 puntenwolk	20
Figuur 10. Canopy Height Model afgeleid van Kooiberg AHN3 puntenwolk	21
Figuur 11. Segmentie van AHN3 puntenwolk om individuele bomen te identificeren.	21
Figuur 12. Boomsoort classificatie op basis van Random Forest en AHN3 puntenwolk	23
Figuur 13: Stamdikte (dbh) classificatie van Random Forest en AHN3 puntenwolk	23

1 Introductie

1.1 Aanpak en aansluiting bij de topsector

Dit haalbaarheidsproject is gericht op de topsector Logistiek. Nederland staat op het gebied van handel en industrie aan de wereldtop. De topsector Logistiek ondersteunt bedrijven die producten vervoeren of overslaan, maar ook bedrijven uit de andere (top)sectoren; hun kosten bestaan voor 8-18% uit logistiek. Voor deze bedrijven is goede logistiek bepalend voor de tijdigheid en leverbetrouwbaarheid en daarmee voor hun marktpositie.

Dit haalbaarheidsproject onderzoekt de kansen van een innovatieproject voor bepaling en optimale afzet van het houtige biomassa-potentieel afkomstig uit lokaal natuurbeheer en groenonderhoud met behulp van de publiek beschikbare puntenwolk van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN-3). Omdat te onderhouden bossen en landschapselementen, van waaruit de biomassa geoogst kan worden, vaak kleinschalig zijn en sterk verspreid liggen (binnen gemeentelijke of provinciale grenzen), biedt deze hoge-resolutie dataset een uitgelezen kans om snel een gedetailleerde inventarisatie van het biomassa-potentieel uit te voeren.

Dit haalbaarheidsproject past binnen het thema Duurzame ketensamenwerking, waar projecten worden gevraagd voor de duurzame ontwikkeling van nieuwe diensten voor ketenregie. Energie uit biomassa speelt een belangrijke rol bij het verduurzamen van de energievoorziening in Nederland. Ook de inzet van biomassa voor biobased toepassingen zoals pyrolyse olie, bioplastics en biopharma levert een bijdrage aan CO₂-emissiereductie. Biomassa afkomstig van onderhoud aan natuur, bos en landschap in Nederland kent vele voordelen: de productie is vrijwel CO₂-neutraal, leidt niet tot aantasting van de biodiversiteit en is niet strijdig met de voedselvoorziening. Het afstemmen van vraag en aanbod van lokaal beschikbare biomassa biedt een logistieke oplossing bij sluiten van kringlopen van grondstoffen en het opwaarderen van afvalstromen, wat essentiële stappen zijn om de CO₂ uitstoot terug te dringen. Efficiëntere verwerking van biomassa afkomstig uit lokaal beheer- en onderhoudswerkzaamheden verlaagt daarnaast de kosten van transport, wat kansen biedt voor een beter bedrijfsresultaat voor zowel biomassa-producenten als voor biomassa-eindgebruikers (energie en biobased productie).

1.2 Beschrijving vervolgproject

FutureWater is voornemens om na de haalbaarheidsfase gezamenlijk met een aantal partners een ontwikkelingsstraject te starten richting een prototype van een operationele informatievoorziening voor bepaling van het houtige biomassa-potentieel afkomstig uit lokaal beheer- en onderhoudswerkzaamheden (zoals snoei- en dunningshout) dat beschikbaar kan worden gemaakt voor lokale energieproducenten en biobased producenten. Hiervoor zal het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN-3) als basis dienen, maar de inzet van Flying Sensors (drones) is hierin ook voorzien, mogelijk aangevuld met satellietbeelden en andere publieke (digitale) informatiebronnen.

De resultaten van dit haalbaarheidsproject zullen via een ontwikkelingsproject kunnen leiden tot een innovatieve logistiek ondersteunende dienst waarbij de producenten en consumenten die een rol spelen in de lokale biomassaketen (natuur beherende organisaties, particuliere landgoederen, regionale overheden, energieproducenten en bedrijven en industrie) advies en inzicht krijgen in de voorraad en beschikbaarheid van lokale houtige biomassa voor bijvoorbeeld stadsverwarmingsprojecten, andere lokale energieprojecten en biobased toepassingen. In het voorziene ontwikkelingsstraject zal een prototype van deze dienst worden ontwikkeld, gedemonstreerd, getest en gevalideerd voor een pilot-gebied. Aangezien deze toepassing zeer innovatief is, is dit een risicovolle aanpak met een reële kans dat het niet het gewenste resultaat oplevert.

1.3 Samenwerking

De belangrijkste voorziene partners in het vervolgproject zijn:

- Borgman Beheer Advies, Wageningen. www.borgmanbeheer.nl. Operationele bosbeheerdiensten voor terrein beherende organisaties, particuliere boseigenaren, landgoederen, natuurorganisaties en overheden. Ontwikkelaar van vegetatiekarteringen met airborne data voor bos- en natuurbeheer.
- HiView, Wageningen. www.hiview.nl. Gecertificeerde drone operator en aanbieder van professionele Flying Sensor beelden.

1.4 Economisch perspectief en marktpotentie

Belangrijkste voorziene eindgebruikers zijn bedrijven en organisaties die een rol spelen in de lokale biomassaketen. Dit zijn enerzijds de biomassaproductanten zoals natuur- en terrein beherende organisaties, particuliere landgoederen en lokale overheden en anderzijds de afnemers van biomassa zoals zagerijen, energieproducenten, bedrijven en industrie met een energiebehoefte (meestal warmte) en biobased afnemers. Vanwege het streven van de Nederlands overheid naar een volledig duurzame energievoorziening in 2050, worden zowel de marktpotentie als het maatschappelijk belang van de beoogde operationele informatiedienst zeer groot geacht: Inzicht in de voorraad en beschikbaarheid van het lokale biomassapotentieel kan bijdragen aan het sluiten van de lokale biomassaketen, wat transportkosten verlaagt en een efficiëntere verwerking van reststromen afkomstig uit lokaal beheer- en onderhoudswerkzaamheden bewerkstelligt.

Op dit moment is er bij FutureWater en Borgman Beheer Advies geen operationele informatiedienst bekend die publiek beschikbare remote sensing informatie combineert voor inzicht en advies in de voorraad en optimale afzet van het lokale houtige biomassapotentieel voor duurzame energievoorziening en biobased toepassingen. Huidige inschattingen van het biomassapotentieel gebeuren op basis van rekenmodellen die werken op basis van generieke formules en dus per definitie een theoretische inschatting geven.

2 Economische haalbaarheid

Het belang van bomen en bos krijgt steeds meer aandacht, met name door een sterk veranderd klimaat. Om een goed beeld te krijgen van de hoeveelheid en toestand van onze bomen en ons bos is het echter van belang om slimme technieken in te zetten om op een kostenefficiënte manier nauwkeurige cijfers te verkrijgen. Waar steekproefsgewijze inventarisaties (NBI, Syhi, Woodstock enz.) vooral voor aaneengesloten bosoppervlakte bedoeld zijn, blijft het lastig om kleinere bos- en landschapselementen goed in beeld te brengen. Toch is het voor veel partijen noodzakelijk om deze cijfers paraat te hebben om het potentieel aan koolstofvastlegging en beschikbaarheid van hout te kunnen bepalen. Economische haalbaarheid van methodieken die dit in beeld kunnen brengen speelt hierbij een cruciale rol.

2.1 Marktverkenning en concurrentieanalyse

Met meer dan 370.000 hectare bos, 94.531 hectare aan (houtige) landschapselementen en minstens 2.151.000 solitaire bomen is er landelijk een noemenswaardige bron van koolstofvastlegging en houtproductie beschikbaar. Om op regionale schaal te kunnen sturen in houtstromen, afkomstig van het beheer, richting lokale afnemers (bijvoorbeeld zagerijen en biomassaketels) is er een nauwkeurige inventarisatie nodig die zowel in absolute volumes als geografische verdeling inzicht geeft. Kijkend naar huidige methodieken en concurrenten valt het volgende op:

De Nederlandse Bosinventarisatie schiet hier op verschillende onderdelen tekort, zo is onbekend tot op welke hoogte de kleinere landschapselementen een rol spelen in koolstofvastlegging en potentiële beschikbaarheid van hout.

Uit eerdere inventarisaties, zoals de inventarisatie uit 2018 van stichting Probos, bleek dat er vraag is naar inzichten over de beschikbaarheid van hout en houtige biomassa in Nederland. Deze inventarisatie is echter niet geschikt om actueel op lokaal niveau uitspraken te doen.

Ook naar inzicht over stadsbomen bleek vraag te zijn. Zo speelde het bedrijf Cobra Groeninzicht hierop in door de BomenMonitor te ontwikkelen. Hierin kunnen o.a. gemeentes inzicht krijgen van de bomen en groenstructuren in hun gemeente. De data in dit systeem zijn afkomstig uit o.a. satellietbeelden en geeft een specifiek inzicht over de individuele bomen. Dit product is echter niet voldoende nauwkeurig voor een inschatting van biomassa in bijvoorbeeld bossen, landschapselementen of kleine bossen.

Andere inventarisatie spelen zich af op het niveau van de individuele eigenaar zoals een bosinventarisatie volgens de Woodstock of SyHI methode. Deze gegevens zijn echter veelal niet openbaar, wordt maar door een beperkt aantal eigenaren uitgevoerd en bovendien vooral op bossen gericht. Landschapselementen zijn nauwelijks in beeld.

2.2 Kosten-baten analyse

De benodigde data is al kosteloos beschikbaar, de opbouw van een systematiek om een landelijk model te genereren zal tijd vragen.

Onderdelen:

- Ontwikkeling van het systeem
- Testen en gebiedsgerichte resultaten genereren
- Controle en validatie
- Vermarkting methodiek aan terreinbeheerders, provincies, etc.

Tabel 1: Kosten-batenanalyse I

Onderdeel	Benodigde uren	Kostprijs per uur	Kosten
Ontwikkeling:			
- Model biomassaberekening	350	€ 55,00	€ 19.250
- Dataplatform	250	€ 55,00	€ 13.750
Testen in regionale setting:			
- Voorbereiding en selectie regio's	50	€ 55,00	€ 2.750
- Toepassen model en dataplatform	400	€ 55,00	€ 22.000
Controle en validatie	100	€ 55,00	€ 5.500
Vermarketing methodiek	150	€ 55,00	€ 8.250
		Subtotaal	€ 71.500
		21% BTW	€ 15.015
		Totaal	€ 86.515

De totale kosten voor ontwikkeling en eerste vermarketing in een regio lijken in eerste instantie te overzien. Wel zijn er veel onzekerheden in de technische ontwikkeling die voor aanzienlijke kostenverhogingen kunnen zorgen. Als we dit voor nu buiten beschouwing laten dan komen we aan de hand van het volgende rekenvoorbeeld op een inschatting van de kosten per hectare:

- Oppervlakte te onderzoeken regio: 75.000 ha
- Waarvan bos en landschapselementen: 7.500 ha
- Kosten per ha eerste regio: € 71.500 / 7.500 ha = € 9,53

Opvolgende regio's kunnen profiteren van de initiële ontwikkeling. Alleen de toepassingskosten zijn dan relevant:

Tabel 2: Kosten-batenanalyse II

Onderdeel	Benodigde uren	Prijs per uur	Kosten
Testen in regionale setting:			
- Voorbereiding en selectie regio's	50	€ 75,00	€ 3.750
- Toepassen model en dataplatform	350	€ 75,00	€ 26.250
Controle en validatie	100	€ 75,00	€ 7.500
Onderhoud en verbetering platform	30	€ 55,00	€ 1.650
		Subtotaal	€ 39.150
		21% BTW	€ 8.221,50
		Totaal	€ 47.371,50

- Oppervlakte te onderzoeken regio: 75.000 ha
- Waarvan bos en landschapselementen: 7.500 ha
- Kosten per ha opvolgende regio's: € 39.150 / 7.500 ha = € 5,22

In bovenstaand voorbeeld is uitgegaan van commerciële tarieven en een regio met een relatief lage bedekking aan te analyseren bos- en landschapselementen. Bij hogere bedekkingsgraden dalen de kosten per ha aanzienlijk omdat er in principe geen extra analyse tijd nodig is voor een afgebakende regio met een hoge bedekkingsgraad, een voorbeeld:

- Oppervlakte te onderzoeken regio: 75.000 ha
- Waarvan bos en landschapselementen: 20.000 ha
- Kosten per ha opvolgende regio's: € 39.150 / 20.000 ha = € 1,96

2.2.1 Concurrerende diensten:

BomenMonitor Cobra

Kosten per jaar

- € 9.950, - voor een gemeente
- € 12.950, - voor een waterschap
- € 14.950, - voor een provincie

Als we voor het voorbeeld BomenMonitor rekenen met de schaal van een waterschap voor regionale analyses dan zijn de kosten per jaar € 12.950 voor benutting van het systeem. Dit is nog exclusief de benodigde tijd om de gerichte vraag van biomassavolume in bos en landschap toe te passen op regio. Een rekenvoorbeeld:

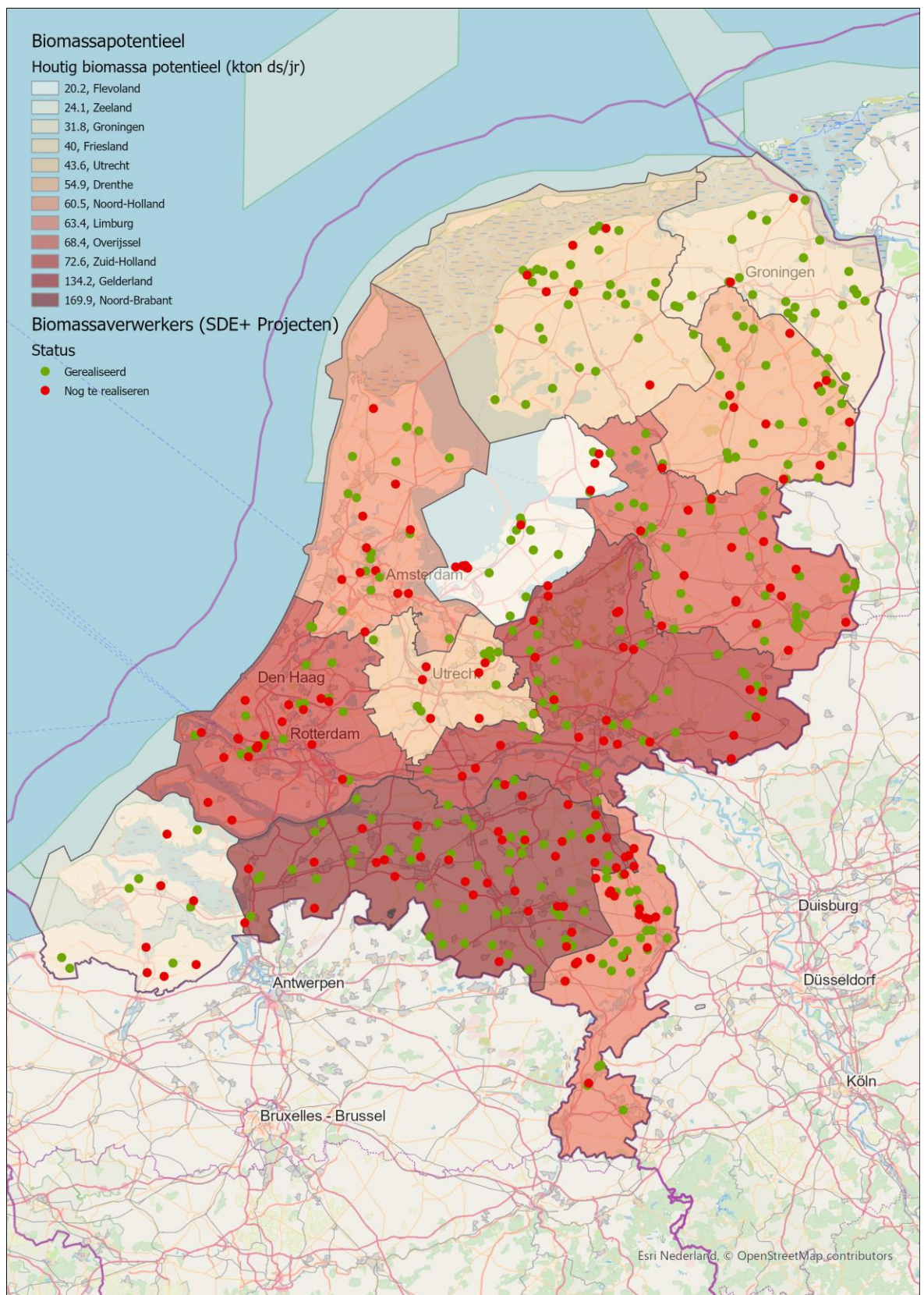
- Oppervlakte te onderzoeken regio: 75.000 ha
- Waarvan bos en landschapselementen: 7.500 ha
- Licentiekosten: € 12.950 per jaar
- Analysetijd (uren x tarief) € 19.250 (350 uur à € 55,00)
- Kosten per ha: € 32.200 / 7.500 ha = € 4,29

Bovenstaande voorbeeld gaat uit van een eenmalige analyse in 1 jaar. Omdat er jaarlijkse licentiekosten zijn is het lastig te vergelijken met de door ons beoogde techniek. De belangrijkste kanttekening is echter dat de BomenMonitor beperkt inzetbaar voor volumeberekeningen in landschap en bossen. De oriëntatie is primair op vrijstaande bomen in stedelijke omgeving. Daardoor is een 1-op-1 vergelijking in kosten baten moeilijk te maken.

NBi/ Syhi / Woodstock

Vanuit onze dagelijkse praktijk van bosinventarisatie weten we dat de kosten voor SyHI en Woodstock gemiddeld circa € 2 per hectare bedragen. Dit is alleen haalbaar in grotere aaneengesloten boscomplexen (>500 ha). Voor landschapselementen zijn de kosten hoger door een aanzienlijke toename van verplaatsingstijd tussen meetpunten (transecten of plots). Hier zijn echter geen rekenvoorbeelden van beschikbaar. Hoewel de SyHI en Woodstock methodiek een accuraat beeld oplevert van koolstofvastlegging en biomassavolume is opschaling op regioschaal arbeidsintensief en vraagt het meer voorbereidingstijd dan een remote sensing benadering. Een 1-op-1 vergelijking is dan ook lastig te maken. Wel is denkbaar dat plots uit de SyHI/Woodstock benut kunnen worden voor validatie van de door ons te ontwikkelen methodiek.

2.3 Kansenskaart



Figuur 1. De potentieel beschikbare biomassa en de verwerkers van biomassa.

Zoals te zien is op de kansenkaart zijn o.a. Noord-Brabant, Gelderland, Zuid-Holland en Overijssel kansrijke gebieden voor de afname van biomassa en een bron van houtig biomassa uit bos, landschap en bebouwde omgeving uit zowel regulier beheer alsook omvorming (data uit SDE+ projectenlijst en 'Nederlands houtig biomassapotentieel per provincie – 2018, RVO').

Wanneer er per regio gekeken wordt naar de verbruikers van houtige biomassa (Ketels vaste biomassa en bijstook van biomassa) wordt duidelijk dat er lokaal belang kan zijn bij het in beeld brengen van de biomassa in detail.

Tabel 3: Verbruikers van houtige biomassa per regio

Regio	Aantal (houtige) biomassa verbruikers
Drechtsteden	1
Rivierenland (Fruitedelta)	1
Goeree-Overflakkee	2
Holland Rijnland	2
Noord Veluwe	2
Midden-Holland	3
Noord-Holland Noord	4
Zuid-Limburg	4
Achterhoek	5
Amersfoort	5
Stedendriehoek/Cleantechregio	6
U10/U16	6
FoodValley	8
Hart van Brabant	8
Arnhem / Nijmegen	9
Noord-Holland Zuid	11
Zeeland	12
Groningen	14
Flevoland	15
Twente	15
West-Brabant	16
Metropoolregio Eindhoven	18
Noordoost Brabant	19
West-Overijssel	19
Rotterdam-Den Haag	22
Friesland	24
Noord- en Midden Limburg	25
Drenthe	30

Naast de vraag en aanbod van houtige biomassa kunnen de nieuwe technieken een rol spelen in het in beeld brengen van stam- of rondhout. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om zaaghout dat in zagerijen nodig is. Een gedetailleerd beeld van de houtvoorraad per regio kan hierbij een belangrijke rol gaan spelen.

3 Technische haalbaarheid

3.1 Beschikbare publieke informatiebronnen

Het uitgangspunt voor het ontwikkelen van een prototype operationele informatievoorziening voor bepaling van het houtige biomassa-potentieel, is de mogelijkheid om individuele bomen te kunnen detecteren en classificeren. Hiervoor is ruimtelijke data nodig met een hoge resolutie (< 1 meter). Er zijn verschillende type publiek beschikbare databronnen voor dit doeleinde beschikbaar:

3.1.1 Luchtfoto's

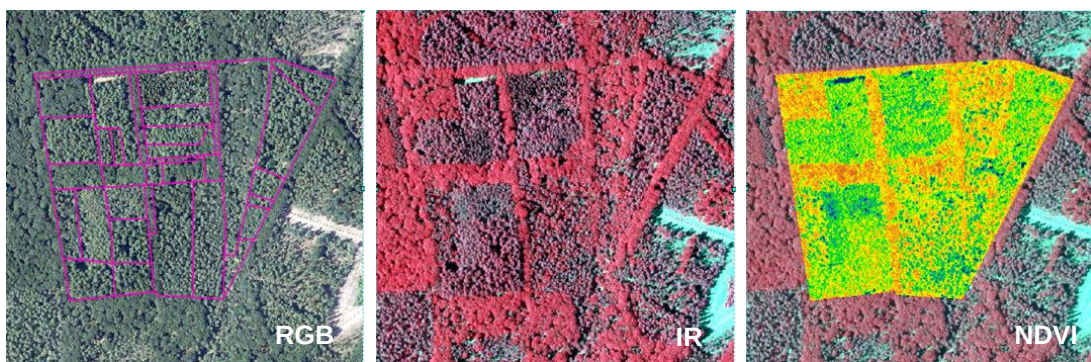
Via Google Earth Pro kunnen luchtfoto's worden gedownload als een .jpg bestand. De resolutie is hoog (ongeveer 0.375 m) en er zijn meestal verschillende opnames beschikbaar. Het nadeel is echter dat de foto's handmatig geogerefereerd moeten worden en de foto's kunnen alleen maar via de user interface worden gedownload (en niet geautomatiseerd via een API). Dit maakt het een bruikbare maar arbeidsintensieve optie om hoge resolutie data in te winnen voor verschillende bosarealen.



Figuur 2. Luchtfoto's beschikbaar via Google Earth Pro

Een tweede optie zijn vrij verkrijgbare luchtfoto's via Publieke Dienstverlening Op de Kaart (PDOK)¹, wat een platform is voor het ontsluiten van geodatasets van Nederlandse overheden. PDOK stelt digitale geo-informatie als dataservices en bestanden beschikbaar, gebaseerd op open data en daarom voor iedereen vrij beschikbaar. PDOK stelt jaarlijks vanaf 2016 een orthomosaïc van Nederland beschikbaar met een resolutie van 0.25 m. De orthomosaïc is beschikbaar als RGB- en infraroodfoto. Dit maakt het mogelijk om een zgn. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) te berekenen (zie Figuur 3), wat meer gedetailleerde vegetatie monitoring mogelijk maakt. De orthomosaïc wordt beschikbaar gesteld met projectie en worden ontsloten via een Web Mapping Service (WMS) dat kan worden benaderd via GIS-software.

¹ <https://www.pdok.nl/>



Figuur 3. RGB, Infrarood en NDVI orthomosaïc van Nederland, beschikbaar gesteld door PDOK

3.1.2 Satellietbeelden

Het Satellietdataportaal¹ ontsluit satellietdata van Nederland aan Nederlandse gebruikers. Het satellietdataportaal bestaat uit meerdere voorzieningen. Zo is er een portaal dat (gratis) toegang tot voorbereekte satellietdata van Nederland: een generieke voorziening zodat (hoge resolutie optisch) satellietbeelden eenvoudig te gebruiken is in GIS. De satellietdata, die beschikbaar worden gesteld via het satellietdataportaal, zijn commerciële data in eigendom van verschillende satellietdata leveranciers waarvoor de Nederlandse overheid gebruiksrechten voor Nederlandse gebruikers heeft ingekocht. De satellietdata zijn dus geen open data, maar kennen bepaalde voorwaarden voor gebruik.

Satelliet	Periode	Banden*	Resolutie
SuperView	2019 - heden**	Panchromatisch	0,5 meter
SuperView	2019 - heden**	Blauw, Groen, Rood, NIR	2 meter
Triplesat	2017 - 2018	Panchromatisch	0,8 meter
Triplesat	2017 - 2018	Blauw, Groen, Rood, NIR	3,2 meter
PlanetScope	2017 - 2018	Blauw, Groen, Rood, NIR	3,1 meter
RapidEye	2017	Blauw, Groen, Rood, Red-Edge, NIR	5 meter
SPOT-6 en 7	2014 - 2016	Panchromatisch	1,5 meter
SPOT-6 en 7	2014 - 2016	Blauw, Groen, Rood, NIR	6 meter
Formosat-2	2012 - 2014	Panchromatisch	2 meter
Formosat-2	2012 - 2014	Blauw, Groen, Rood, NIR	8 meter
UK-DMC-2	2012 - 2016	Groen, Rood, NIR	22 meter
Deimos-1	2012 - 2016	Groen, Rood, NIR	22 meter

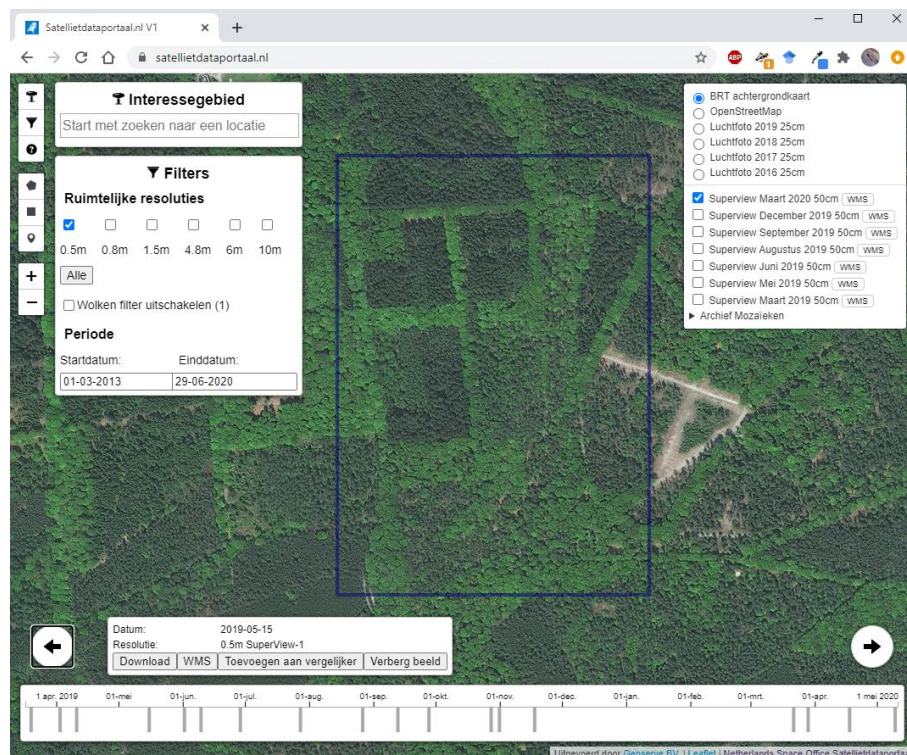
Figuur 4. Optische hoge resolutie satelliet data verkrijgbaar via satellietdataportaal

Om de satellietdata gemakkelijk toegankelijk te maken voor een breed publiek, wordt de hoge resolutie optische data aangeboden als een voorbereekte GIS-ready product. De hoge resolutie optische data zijn voorbereekt en opgewerkt tot kleurenbeelden in natuurlijke kleurstelling in rood, groen, blauw (RGB) die in de viewer en als Web Mapping Service (WMS) te bekijken zijn. Voorbereeking wil zeggen dat deze data zijn gecorrigeerd voor geometrische verstoringen en hoogteverschillen en ingepast in een coördinatenstelsel. Toegang tot de data kan via een online viewer (alleen optische data) en via FTP of API.

Hogere resolutie kleurenbeelden zijn geproduceerd door middel van pansharpening voor de data van de satellieten Supersview, Triplesat en SPOT-6 en -7, die een panchromatische band (zwart-wit) hebben in

¹ <https://www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal/>

hogere resolutie. Met de pansharpenering methode worden de originele en lagere resolutie multispectrale banden (rood, groen, blauw) omgezet naar een kleurenbeeld met hogere resolutie door deze te combineren met de hogere resolutie panchromatische band (zwart-wit).



Figuur 5. Web viewer van het satellietdataportaal voor optische data

3.1.3 Actueel Hoogtebestand Nederland

Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)¹ is een bestand met voor heel Nederland gedetailleerde en precieze hoogtegegevens. Met lasertechnologie of LiDAR (Light Detection and Ranging) is vanuit helikopters en vliegtuigen 3D-hoogteinformatie verzameld. Zodoende is van elke vierkante meter in Nederland tot op 5 centimeter nauwkeurig de hoogte op maaiveldniveau bekend. Ook is informatie beschikbaar over bouwwerken en begroeiing. Het inwinnen van de gegevens neemt een aantal jaren in beslag. AHN is een meerjarenprogramma en een samenwerking tussen de Waterschappen, Provincies en Rijkswaterstaat met als doel het vervaardigen van een digitaal hoogtebestand van Nederland. Deze organisaties hebben gezamenlijk het initiatief genomen tot vervaardigen van het AHN omdat ze gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor een veilig Nederland op het gebied van watersysteem- en waterkeringenbeheer. De overheid heeft het AHN volledig en zonder enige voorwaarden openbaar gedeeld in de vorm van open data, om hergebruik van de beschikbare gegevens te stimuleren.

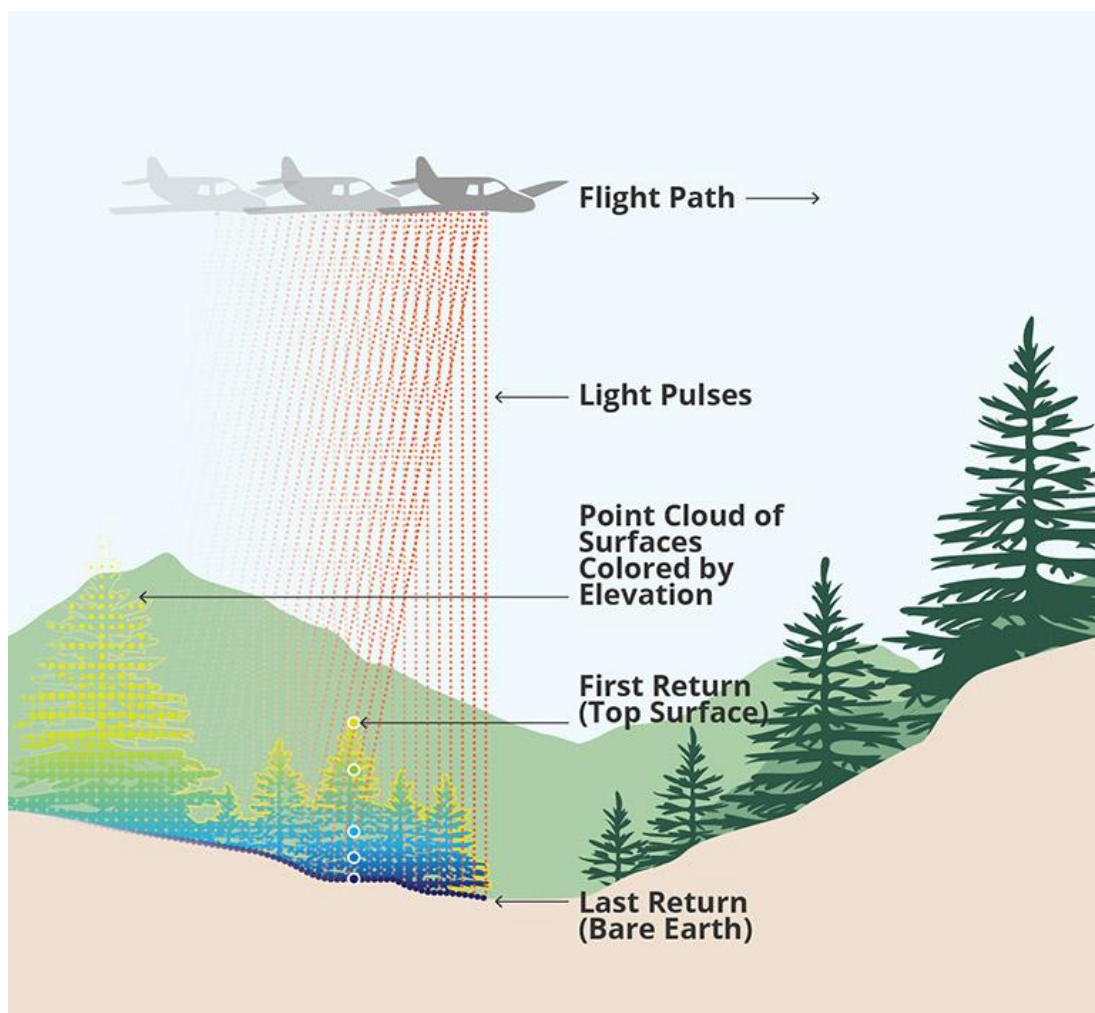
De eerste metingen aan het AHN zijn al in 1996 gedaan. Het AHN-1 is gemeten tussen 1996 en 2002, het AHN-2 is gemeten tussen 2007 en 2012 en de AHN-3 is gemeten tussen 2014 en 2019. De laatste twee dus in een cyclus van 6 jaar, waarbij niet altijd dezelfde inwinvolgorde is gebruikt. Afhankelijk van het gebied ligt het werkelijke tijdsverschil tussen het AHN-2 en AHN-3 tussen de vier en de tien jaar. Het AHN-4 zal tussen 2020 en 2022 worden ingemeten, waardoor er voor heel Nederland sneller een update beschikbaar komt.

¹ <https://www.ahn.nl/>

Het AHN wordt ingewonnen via laseraltimetrie vanuit vliegtuigen. De leverancier van de data start met het maken van een vliegplan. Hiervoor heeft hij een aantal zaken nodig, zoals gebiedsbegrenzing en de specificaties van de data (punt dichtheid, puntverdeling). Op basis van de gevraagde punt dichtheid bepaalt de leverancier de vlieghoogte. Van belang daarbij is:

1. De reflectiviteit van het terrein, wat bepaalt hoeveel signaal het terrein reflecteert. Hoe minder het terrein reflecteert hoe lager de vlieghoogte moet zijn.
2. Terreinhoogte variatie, waarbij de laagste hoogte bepalend is voor het behalen van de minimale punt dichtheid. De hoogste hoogte bepaalt vervolgens de effectieve strookbreedte.
3. Snelheid van het vliegtuig. Tot voor kort waren langzame vliegtuigen noodzakelijk om een hoge punt dichtheid van te realiseren. Met de snelle ontwikkeling van de techniek wordt een veel hogere punt dichtheid gerealiseerd in één vliegstrook. Daardoor kunnen vliegtuigen hoger en/of harder gaan vliegen om de minimumeis te realiseren.

Uiteindelijk resulteren deze uitgangspunten in een ideale vlieghoogte en resulterende breedte van de vliegstrook. Deze vliegstroken worden vervolgens zo efficiënt mogelijk over het in te vliegen gebied gepland.



Figuur 6: Principe van laseraltimetrie vanuit vliegtuigen

Naast de LiDAR scanner bevat het vliegtuig een GPS-systeem dat de locatie van het vliegtuig monitort en een IMU (*Inertial Measurement Unit*) die de bewegingen van de scanner monitort. Deze systemen

worden gekoppeld aan GPS-basisstations op de grond die continue meten en waarvan de coördinaten bekend zijn. Zodoende wordt een traject berekend dat voor iedere meting van de LiDAR weet wat de locatie en de stand van het vliegtuig waren. Het uiteindelijke resultaat na een aantal kalibratie / correctie stappen is een geogereferende puntenwolk met bijbehorende data per punt. Dit zijn o.a.:

- X, Y, Z punt locatie
- Signaalintensiteit
- Return nummer (zie Figuur 6)
- Scan hoek
- Vliegstrook
- Tijdstip

De AHN-data worden aangeboden als een LAZ-puntenwolk, een bestand waarin alle metingen beschikbaar zijn zoals ze zijn gedaan inclusief alle kenmerken van dat punt zoals intensiteit, klasse, vliegstrooknummer, tijdstip, etc. LAZ is een gecomprimeerd LAS bestand dat door de meeste software rechtstreeks ingelezen kan worden. LAZ-puntenwolken zijn uitermate geschikt om extra analyses op de data uit te voeren en om volledig gebruik te maken van alle informatie die besloten is in de data.

Voor het AHN-2, AHN-3 en AHN-4 geldt dat individueel gemeten punten in de puntenwolk een hoogtenauwkeurigheid van niet meer dan vijf centimeter standaardafwijking en niet meer dan vijf centimeter systematische afwijking bezitten. Voor het AHN-2 en het AHN-3 is geen punt dichtheid gespecificeerd, maar deze ligt gemiddeld tussen de 6 en 10 punten per vierkante meter. Voor het AHN-4 zal de punt dichtheid ongeveer 10-14 punten per vierkante meter zijn.

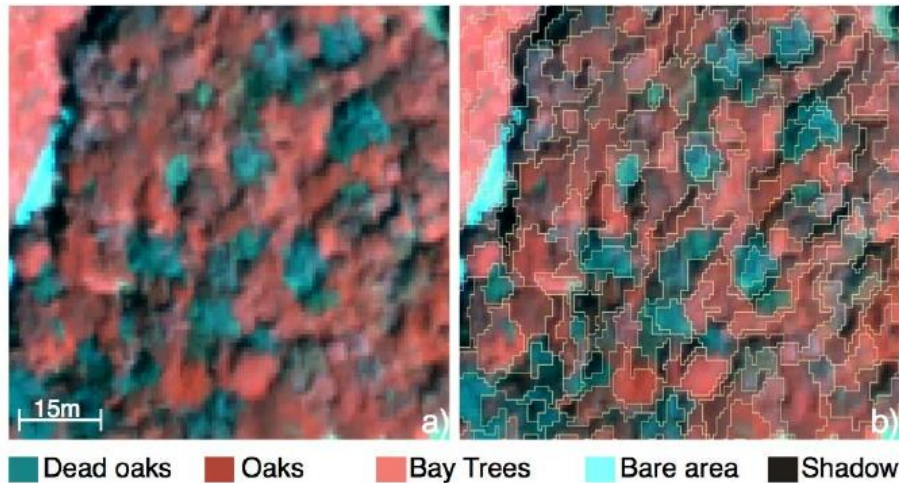
3.2 Beeldclassificatie met *machine learning* technieken

Machine Learning (ML) gaat over het creëren van algoritmen die kunnen leren van data. Vaak zeggen mensen dat een computer alleen doet waarvoor deze geprogrammeerd is, maar dat is niet altijd meer het geval. Het gaat bij machine learning over een revolutie waarin mensen niet meer programmeren (als dit, dan dat), maar waarin machines zelf regels afleiden uit data. Een machine learning-algoritme is in staat om zelfstandig patronen uit data te halen, modellen te bouwen en voorspellingen te geven over uiteenlopende zaken zonder voorgeprogrammeerde regels. Machine learning is niet nieuw, het kent zijn oorsprong in de academische wereld eind jaren zestig. Echter door de ruime beschikbaarheid van (big) data, de toename in processing power en de beschikbaarheid van machine learning platformen is deze technologie recentelijk volwassen geworden. Machine learning-algoritmen zijn uitermate geschikt om ingezet te worden bij beeldclassificatie, bijvoorbeeld om aan elke beeldopname een label toe te wijzen uit een bepaalde reeks categorieën. Hieronder volgt een kort overzicht over de verschillende typen beeldclassificatie en de gekozen machine learning classificatie methode voor de bepaling van lokaal biomassapotentieel met de puntenwolk van het Actueel Hoogtebestand Nederland 3

3.2.1 Typen beeldclassificatie

Remote Sensing (RS) data zijn zeer geschikt voor digitale classificatiedoelstellingen. Het classificeren van pixels (waaruit een digitaal RS-beeld is opgebouwd) op basis van hun 'spectrale signatuur' is daarbij een veelgebruikte optie: pixels met dezelfde 'spectrale signatuur' worden samen gesorteerd. Een classificatie kan ook worden gedaan op een ruimtelijke basis: pixels met een soort van ruimtelijke verhouding worden samen gesorteerd. In dit geval spreken we van een object-based classificatie in plaats van een pixel-based classificatie. Bij een object-based classificatie kan men ook de ruimtelijke variatie in spectrale waarden van het object als kenmerk meenemen. Tot slot kan het classificeren ook op een temporele basis: pixels worden ingedeeld m.b.v. van gegevens uit twee datasets.

Het uiteindelijke doel van de classificatie is het afleiden van een (vereenvoudigde) thematische kaart, waarin een aantal klassen wordt onderscheiden. Twee traditioneel veelgebruikte classificatiestrategieën zijn de supervised en de unsupervised Classificatiemethoden. Bij een unsupervised classificatie ('een classificatie zonder toezicht') worden pixels automatisch gegroepeerd in clusters van gelijke spectrale reflectie. In het geval van een supervised classificatie ('een classificatie onder toezicht') wordt gebruik gemaakt van een training dataset (locaties waarvan bekend is wat er staat), waarna deze set wordt gebruikt voor het classificeren van het gehele beeld. Daarnaast kan ook een strategie worden gevolgd die gebruik maakt van een mix van beide.

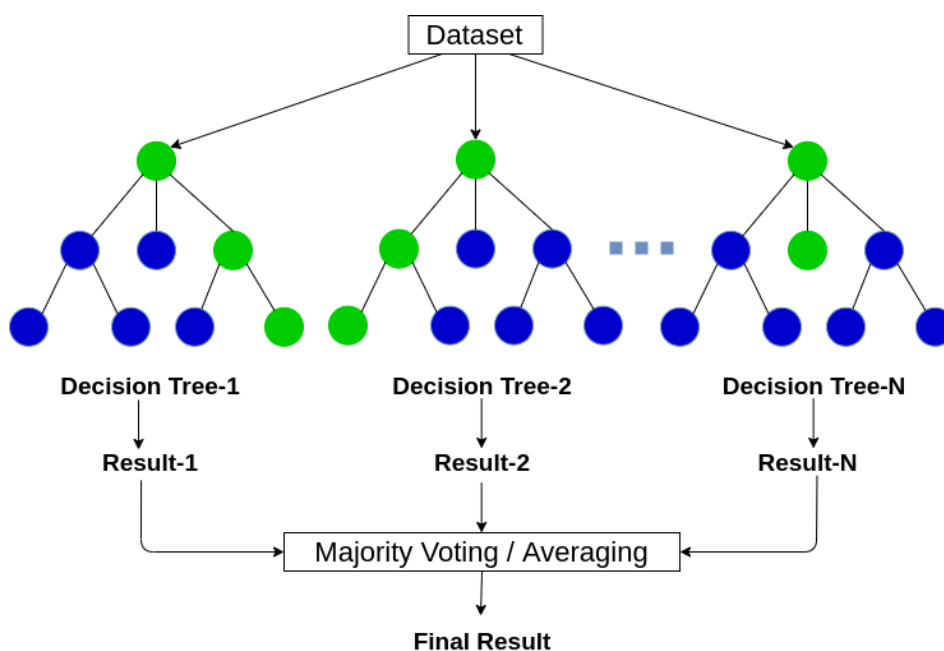


Figuur 7. Pixel-based vs object-based classificatie

3.2.2 Random Forest classificatie

Net als in de ontwikkeling van RS-sensoren (o.a. op het gebied van de hyperspectrale en LIDAR-technologie) zijn ook de classificatietechnieken de afgelopen tijd verder ontwikkeld, mede als gevolg van de verbeterde ruimtelijke en spectrale resolutie. Nieuwe geavanceerde software algoritmes (zoals de object-based classificatie methode) maar ook het slim combineren van verschillende RS-databronnen (bv. spectraal en LIDAR) of multi-temporale RS-data in classificatiemethoden hebben geleid tot betere resultaten. Een veelgebruikte en veelbelovende vorm van supervised classificatie m.b.v. machine learning is de decision tree (beslisboom)-classificatie en de daarop gebaseerde random forest classificatie.

Decision trees zijn machine learning algoritmes die leren data te categoriseren aan de hand van een model met knooppunten en vertakkingen. Bij elk knooppunt wordt een datapunt getest op een bepaalde variabele en op basis daarvan wordt bepaald naar welk volgend knooppunt het gaat voor de volgende test. Uiteindelijk komt het dan uit bij een eindknooppunt, een blad (leaf). Hierbij wordt het datapunt dan gelabeld binnen een bepaalde klasse (of een continue waarde in het geval van regressie). Decision trees hebben echter de vervelende gewoonte om data te 'overfitten'. Ze vormen zichzelf op een manier die heel nauwkeurig de trainingset kan modeleren, maar doen dit zo overdreven dat ze het slecht doen voor nieuwe gegevens. Ze leren de antwoorden in plaats van de patronen. Om dit te voorkomen kun je de decision trees 'snoeien'. Dit houdt in dat je hem kleiner maakt zodat hij niet te gefocust raakt op de details. Maar er zijn ook andere oplossingen, en een daarvan is het fandon forest algoritme.



Figuur 8. Diagram van een Random Forest algoritme

Een random forest is precies dat wat de naam al suggereert: een verzameling van (random) beslisbomen. Er wordt een verzameling van decision trees gegenereerd met random variaties in de training set en input variabelen. Deze decision trees krijgen dan elk een stem. In het geval van classificatie wordt het uiteindelijke antwoord bepaald door de meerderheid van die stemmen. In het geval van regressie wordt het gemiddelde genomen. Op deze manier wordt voorkomen dat het model overfit raakt, iets wat vooral een risico is voor trainingsets met veel variabelen en weinig datapunten. Random forest daarentegen kunnen daar over het algemeen uitstekend mee omgaan. Dit en het feit dat ze over het algemeen vrij simpel te trainen zijn maakt ze erg populair. Ze doen het vooral goed voor classificatie maar zijn ook geschikt voor regressie. De methode kan worden toegepast op numerieke data, maar is ook toepasbaar op categorische (kwalitatieve) data. Het is dus toepasbaar op alle soorten RS-data, en door het combineren van bijvoorbeeld LIDAR- en hoge resolutie spectrale RS-data neemt de nauwkeurigheid van de classificatie over het algemeen toe.

3.3 Biomassabepaling

De gemeten boomhoogte samen met de berekende DBH en geschatte boomsoort zijn voldoende om middels biometrische formules te komen tot het volume aan houtige biomassa. Hiervoor worden dezelfde methoden gebruikt die ook gangbaar zijn in bijvoorbeeld de traditionele bosinventarisatie, zoals ook de Nationale Bosinventarisatie ('formule van Dik'). Deze formule bepaald per boomsoort, middels bekende boomvormgetallen, de stamvolume van ieder individuele boom. Vervolgens kan met een BMF (biomass expansion factor) de houtige biomassa uit tak- en top hout berekend worden.

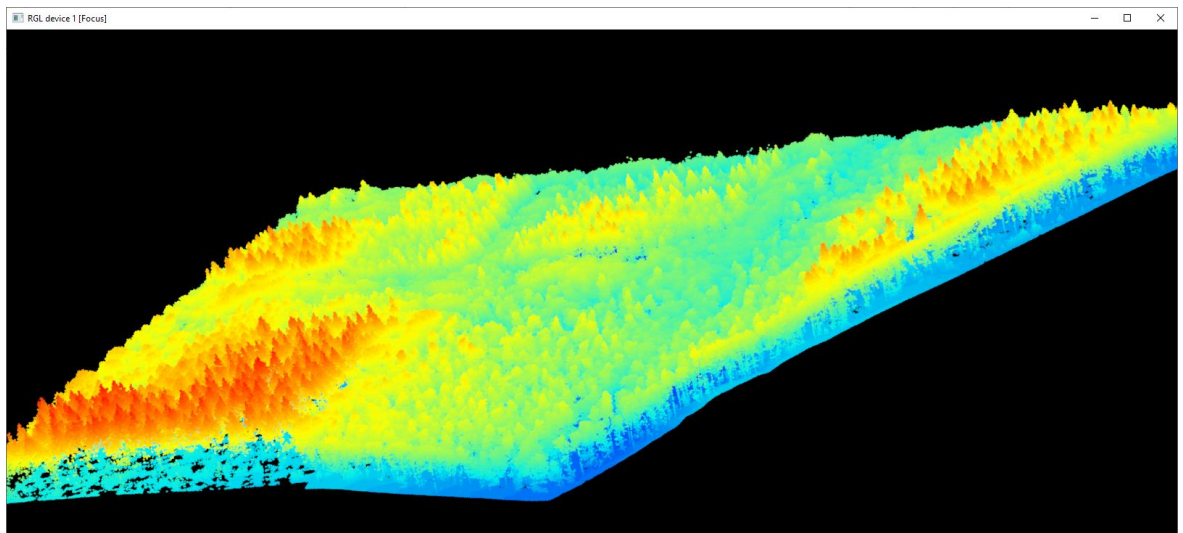
4 Experimentele ontwikkeling

4.1 Prototype ontwikkeling

Met behulp van Random Forest classificatie op een AHN3 puntenwolk hebben FutureWater en Borgman een applicatie ontwikkeld die het mogelijk maakt om bosgebieden te inventariseren op boomhoogte, boomsoort en standdikte. Dit zijn de meest belangrijke parameters om het volume aan houtige biomassa te schatten. Hieronder volgt een schematisch overzicht van welke ontwikkelingsstappen zijn doorlopen om tot deze classificatie en biomassa bepaling te komen.

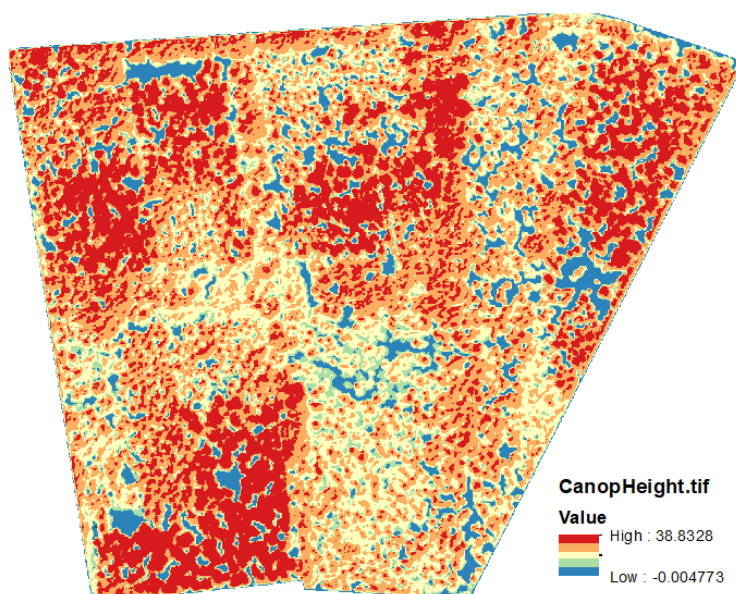
4.1.1 Data inputs

Als input hebben we gebruik gemaakt van een AHN3 puntenwolk van een bosareaal op de Veluwe nabij Apeldoorn. Van dit bosareaal (Kooiberg) heeft Borgman Beheer eerder een bosinventarisatie gemaakt op basis van veldmetingen. Deze veldmetingen zijn gebruikt als training data voor de Random Forest classificatie en kunnen gebruikt worden om de uitkomsten te valideren.



Figuur 9. Kooiberg AHN3 puntenwolk

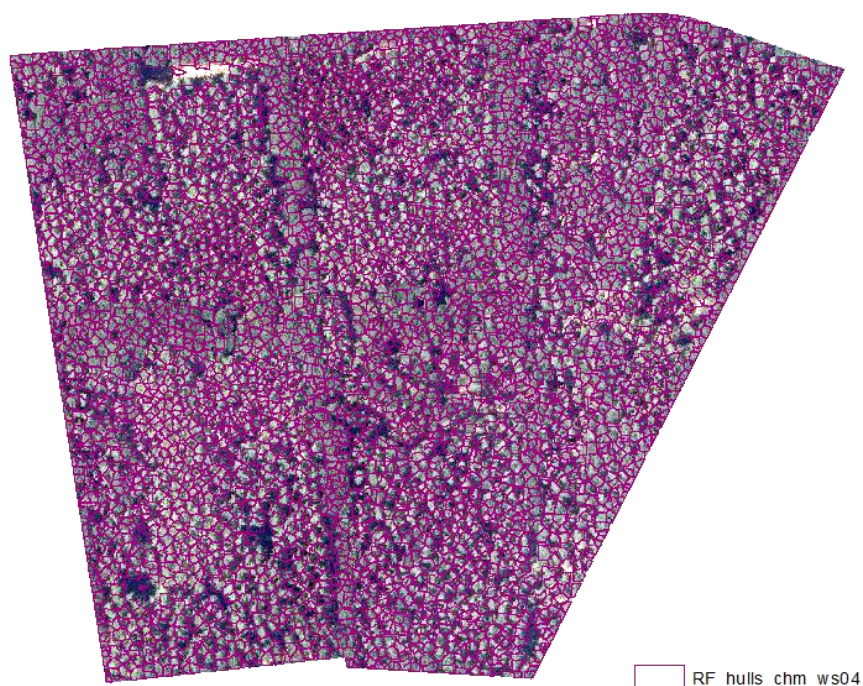
Uit de AHN3 puntenwolk kan redelijk eenvoudig een zgn. canopy height model worden afgeleid, wat de hoogte van het bosareaal geeft gezien vanaf de grond. Dit kan gebruikt worden als input om de boomhoogte van individuele bomen af te leiden.



Figuur 10. Canopy Height Model afgeleid van Kooiberg AHN3 puntenwolk

4.1.2 Segmentatie algoritme

Om individuele bomen af te leiden is een segmentatie algoritme gebruikt om de AHN3 puntenwolk van Kooiberg op te splitsen in segmenten. Verschillende parameters zijn geprobeerd om ervoor te zorgen dat elk segment slechts 1 boom zou bevatten. Hoewel het lastig is gebleken om dit helemaal goed te krijgen, was het uiteindelijke resultaat tevredenheid.



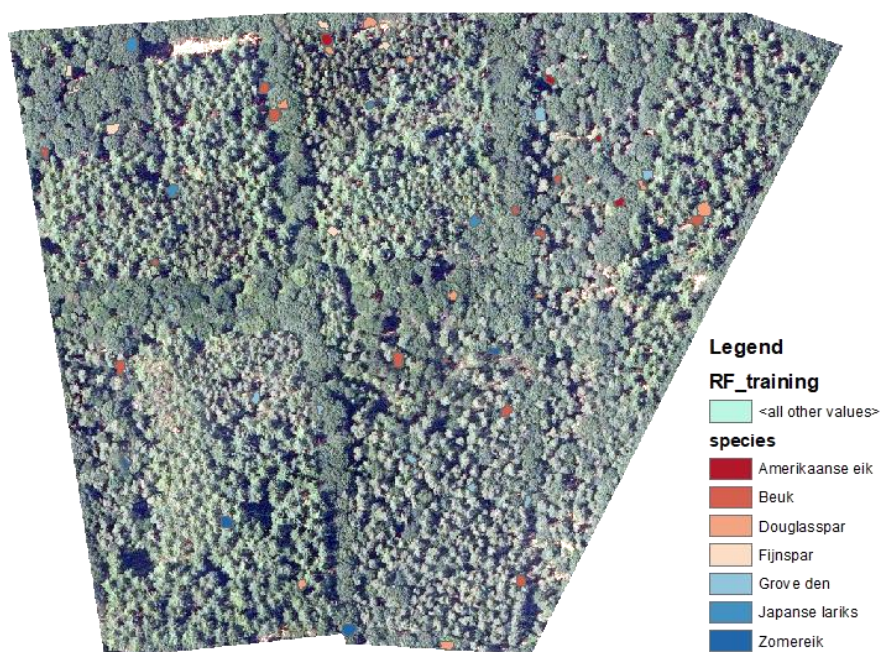
Figuur 11. Segmentie van AHN3 puntenwolk om individuele bomen te identificeren.

Met behulp van data uit veldmetingen zijn een aantal segmenten vervolgens gelabeld met een boomsoort ID en stamdikte. Uit deze segmenten zijn ook een groot aantal gegevens onttrokken die

behoren bij de karakteristieken van de AHN3 puntenwolk. Deze data tezamen dienen als training data voor de Random Forest classificatie.

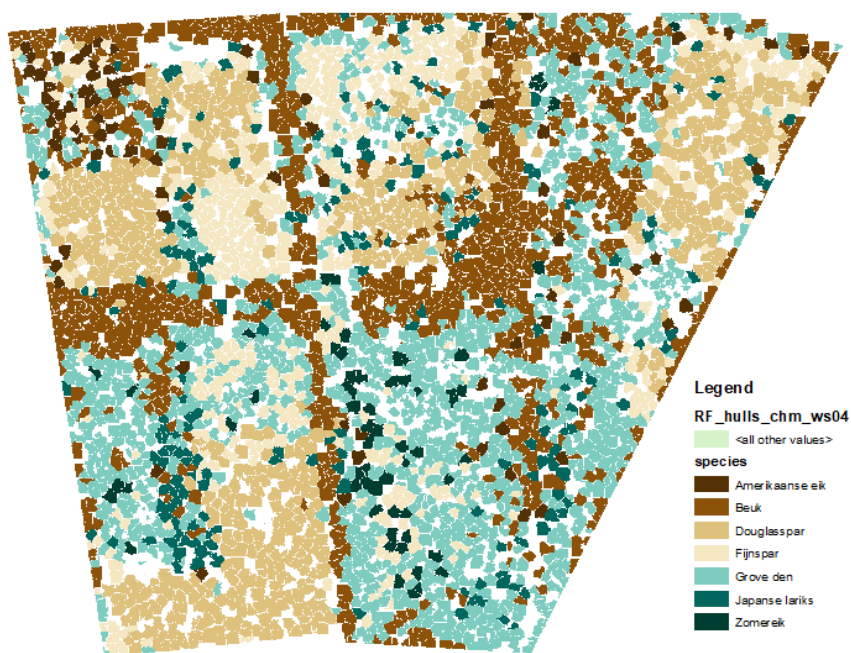
Tabel 4: Training data als input Random Forest classificatie

FID	treeID	zmax	zmean	zsd	zskew	zkurt	dbh	species
0	318	21.4644	6.598519	7.251439	0.321055	1.351493	35.38756	Grove den
1	332	22.1214	8.532339	7.893348	0.112674	1.434785	35.51153	Beuk
2	283	22.2783	10.76485	8.855881	-0.25573	1.267986	35.00189	Beuk
3	424	24.2074	10.01285	9.485897	0.022223	1.187211	36.10515	Beuk
4	282	23.2695	10.09786	9.025311	-0.06545	1.215234	35.72277	Beuk
5	176	19.7977	8.850991	7.523216	-0.213	1.231454	35.36166	Beuk
6	272	22.4262	8.75793	8.279771	0.215638	1.33494	35.6336	Grove den
7	405	23.1971	9.858295	9.011102	0.045126	1.291113	35.84395	Beuk
8	197	19.9349	9.488561	7.400925	-0.28513	1.362948	33.04027	Grove den
9	355	23.3443	12.28162	9.121056	-0.35764	1.406117	34.25828	Amerikaanse eik
10	386	22.8044	9.284673	9.233475	0.10489	1.175521	35.98911	Beuk

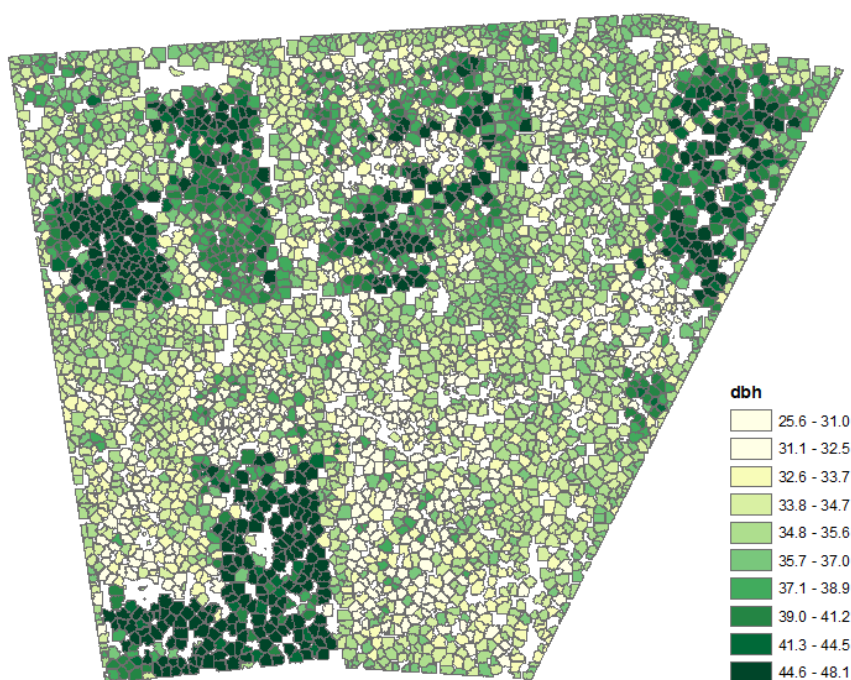


4.1.3 Random Forest classificatie

De training data die op basis van de AHN3 puntenwolk segmentatie (en statistieken) en veldmetingen van boomsoort en stamdikte is opgesteld, heeft vervolgens gediend als input van het Random Forest algoritme. Hieronder zijn de resultaten weergegeven voor de boomsoort en boomdikte classificatie.



Figuur 12. Boomsoort classificatie op basis van Random Forest en AHN3 puntenwolk



Figuur 13: Stamdikte (dbh) classificatie van Random Forest en AHN3 puntenwolk

Wanneer deze uitkomsten worden vergeleken met beschikbare velddata, kan worden geconcludeerd dat de resultaten vrij goed overeenkomen met de werkelijkheid. Dit geeft het vertrouwen dat deze applicatie veel potentie heeft voor het inschatten van houtige biomassa. Dit inzicht is een belangrijke uitkomst voor dit haalbaarheidsproject, samen met de aangetoonde economische potentie dat biomassa kan vervullen.

4.2 Dashboard voor eindgebruiker

FutureWater en Borgman beheer zijn, op basis van in dit haalbaarheidsproject behaalde resultaten en opgedane inzichten, voornemens om een vervolgproject te starten waarin een online dashboard wordt ontwikkeld. Dit dashboard zal voor de eindgebruiker een goed beeld geven van de beschikbare houtvoorraad en biomassa. Doordat er on-the-fly berekeningen gemaakt kunnen worden kan het resultaat per gewenste regio, gebied of zelfs bosperceel weergegeven worden.

5 Conclusie

Er kan worden geconcludeerd dat het bepalen van houtige biomassa met behulp van de AHN3 puntenwolk veel potentie heeft. Hoewel er zeker nog verbeteringen zijn door te voeren, kan met behulp van Random Forest classificatie vrij nauwkeurig de boomsoort en stamdikte van een bosareaal worden bepaald. Met deze twee parameters, samen met de gemiddelde boomhoogte uit het Canopy Height Model, kan een nauwkeurige biomassa inschatting worden gemaakt.

Deze resultaten geven FutureWater en Borgman Beheer het vertrouwen dat een te ontwikkelen applicatie voor het schatten van houtige biomassa m.b.v. Random Forest technisch goed haalbaar. Ook de opgedane inzichten uit de kansenkaart, kosten-batenanalyse en concurrentieanalyse uitgevoerd binnen dit haalbaarheidsproject geven tezamen aan dat er een grote marktpotentie bestaat voor de applicatie. FutureWater en Borgman Beheer hebben daarom het voornemen om een vervolgproject te starten om het product verder door te ontwikkelen en een marktintroductie te verkennen.