



Uitwisseling van drone- en satellietdata met BMS

PPS PL4.0 WP7

Gerbert Roerink, Stan Los



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Uitwisseling van drone- en satellietdata met BMS

PPS PL4.0 WP7

Gerbert Roerink, Stan Los

Dit rapport is gemaakt in opdracht van het Topsector AgriFood PPS-project 'Precisielandbouw 4.0'. Het betrof een sprint binnen werkpakket 7 van de PPS.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, december 2023

Gereviewd door:

dr.ir. C (Corné) Kempenaar, Senior onderzoeker (Wageningen Plant Research)

Akkoord voor publicatie:

dr.ir. SJC (Sander) Janssen, Teamleider van Earth Informatics

Rapport 3301
ISSN 1566-7197

De uitwisseling van zowel satellietdata als dronedata binnen en met een bedrijfsmanagementsysteem (BMS) is technisch niet zo moeilijk. Echter, de data zijn vaak niet zonder meer te gebruiken. Dit heeft te maken met een veelvoud aan factoren (o.a. atmosfeer, wolken, georeferentie, opnametijdstip, kijkhoek en sensorspecificaties). In deze sprint is onderzocht in hoeverre verschillende drone- en satellietbeelden onderling uitwisselbaar en te gebruiken zijn en wat de oorzaken van eventuele afwijkingen zijn. Middels een pilotstudie waarin diverse drone- en satellietbeelden van hetzelfde gebied en dezelfde periode zijn gebruikt, is de impact van de verschillende factoren beoordeeld, zowel beschrijvend als kwantitatief. In dit onderzoek hebben we de geometrische, spectrale en temporele nauwkeurigheid van deze beelden onderzocht als ze binnen de landbouwsector worden toegepast.

Het blijkt dat de toepasbaarheid van het beeldmateriaal van verschillende sensoren erg afhankelijk is van enerzijds de geometrische, spectrale en temporele resolutie en anderzijds de, in dit geval, toepassing binnen de precisielandbouw. Middels kwaliteitsprotocollen worden handvaten aangereikt voor het gebruik van verschillende soorten drone- of satellietbeelden voor specifieke landbouwdoeleinden.

The exchange of both satellite data and drone data within and with a business management system is technically speaking no so difficult. However, the data often cannot be used without further ado. This has to do with a number of aspects (a.o. atmosphere, clouds, georeferencing, overpass time, viewing angle and sensor specifications).

This sprint investigated the extent to which different drone and satellite images are interchangeable and usable and what the causes of any deviations are. Through a pilot study in which various drone and satellite images of the same area and the same period were used, the impact of the various aspects was assessed, both descriptively and quantitatively. In this study we investigated the geometric, spectral and temporal accuracy of these images when applied within the agricultural sector.

It turns out that the applicability of the images from different sensors is very dependent on the geometric, spectral and temporal resolution on the one hand and on the, in this case, application within precision agriculture on the other. Quality protocols provide guidelines for the use of different types of drone or satellite images for specific agricultural purposes.

Trefwoorden: Precisielandbouw, drone, satelliet, BMS, uitwisselbaarheid, spectrale, temporele, ruimtelijke, resolutie

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/643419> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2023 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

Verantwoording	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Opzet onderzoek	10
2.1 Deelonderzoeken	10
2.1.1 Geometrische nauwkeurigheid	10
2.1.2 Spectrale nauwkeurigheid	10
2.1.3 Temporele nauwkeurigheid	10
2.1.4 Kwaliteitsprotocol	11
2.2 Participatie BMS-ontwikkelaars	11
2.3 Eindresultaat	11
3 Satelliet- en dronedata	12
3.1 Pilotgebied	12
3.2 Dronedata	12
3.3 Platformen en sensoren	13
3.4 Datum selectie	13
3.5 Eerste verkenning dronebeelden	13
3.6 Satellietdata	16
3.6.1 SuperView	18
3.6.2 PlanetScope	18
3.6.3 Sentinel-2	19
3.6.4 Landsat	20
4 Geometrische nauwkeurigheid	21
5 Spectrale en temporele nauwkeurigheid	23
5.1 Spectrale nauwkeurigheid	23
5.2 Temporele nauwkeurigheid	27
6 Kwaliteitsprotocol	29
6.1 Opinie experts	29
6.2 Pixelresolutie	30
6.3 Precisielandbouwtoepassingen	30
7 Conclusies	31
Annex 1 Beschikbare dronedata gesorteerd op datum	32
Annex 2 Data uitgezet voor platform, operator, camera en georeferentie	34

Verantwoording

Rapport: 3301

Projectnummer: 5200047288

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Senior onderzoeker (Wageningen Plant Research)

naam: dr.ir. C (Corné) Kempenaar

datum: 30 november 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: dr.ir. SJC (Sander) Janssen

datum: 30 november 2023

Samenvatting

De uitwisseling van zowel satellietdata als dronedata binnen en met een bedrijfsmanagementsysteem (BMS) is technisch niet zo moeilijk, het gaat immers om rasterdata die relatief eenvoudig uit te wisselen zijn. Echter, de data zijn vaak niet zonder meer te gebruiken. Dit heeft te maken met een veelvoud aan factoren (o.a. atmosfeer, wolken, georeferentie, opnametijdstip, kijkhoek en sensorspecificaties).

In deze sprint is ten eerste onderzocht in hoeverre verschillende drone- en satellietbeelden onderling uitwisselbaar en te gebruiken zijn. Ten tweede, als er afwijkingen zijn, waar komt dat door en is het te verhelpen. Daarnaast is er een kwaliteitstoets opgesteld dat een handvat geeft om de verschillende drone- en satellietdata te kunnen beoordelen op gebruik en eventuele tekortkomingen.

Uitvoering geschiedde middels een pilotstudie waarin we diverse drone- en satellietbeelden van hetzelfde gebied en dezelfde periode gebruiken om de impact van de verschillende factoren te beoordelen, zowel beschrijvend als kwantitatief. In dit onderzoek hebben we de geometrische, spectrale en temporele nauwkeurigheid van deze beelden onderzocht als ze binnen de landbouwsector worden toegepast.

Dronebeelden met een georeferentie alleen op basis van GPS hebben een geometrische onnauwkeurigheid die al gauw kan oplopen tot boven de meter (gemiddeld 157 cm). Met GPS-RTK ingevlogen dronebeelden hebben een gemiddelde onnauwkeurigheid van 79 cm. Dit is een verbetering, maar nog onvoldoende als we naar plant-specifieke informatie en precisielandbouw op plantniveau willen. In deze casestudy hebben alleen handmatig geometrisch gecorrigeerde beelden een zeer hoge nauwkeurigheid van slechts 3 cm, wat voldoende zou zijn voor precisielandbouw op plantniveau.

De huidige stand van zaken is dat satellietbeelden automatisch kunnen worden gegeoreferend met een nauwkeurigheid van een halve pixel. Dit betekent dat de makers en aanbieders van de satellietsensoren en -beelden deze nu volautomatische kunnen recht leggen tot op pixelniveau. In het geval van Sentinel-2 beelden (resolutie 10 m) betekent dat een afwijking van ten hoogste 5 m.

De spectrale nauwkeurigheid is ook erg afhankelijk van het bewerkingsniveau. Alleen Sentinel-2 en Landsat kennen op dit moment een standaard atmosferische correctie (zogenaamde L2A-product), waardoor consistente tijdsreeksen kunnen worden verkregen die ook in absolute zin correct reflectie- en vegetatie-index (NDVI-)waardes weergeven. De andere satellietssystemen (in deze studie Superview en PlanetScope) geven soms grillige afwijkingen, omdat het Top-Of-Atmosphere producten zijn. Deze zijn echter wel middels een handmatige kalibratie te corrigeren. Wellicht dat over enkele jaren dit proces verder geautomatiseerd zal worden door de verschillende satellietaanbieders en processors.

De spectrale nauwkeurigheid van dronebeelden laat ook te wensen over en dronebeelden zijn dan ook zeker niet zo te gebruiken in aanvulling op satellietbeelden. Dezelfde velden op dezelfde dagen kunnen geheel andere spectrale waardes geven. Alleen met additionele (handmatige) kalibratie of het gebruik van kalibratiepanelen in het veld is dit op te lossen. Veelzeggend hierin is dat het Bioscope-platform min of meer is afgestapt van zijn initiële insteek op gecombineerd satelliet- en dronegebruik, vanwege de hoge kosten van de laatstgenoemde beelden, maar nu veel meer inzet op het extra inkopen van satellietbeelden (PlanetScope).

De temporele nauwkeurigheid van dronebeelden kan erg groot zijn; ze kunnen immers dagelijks, zo niet meerdere keren per dag gevlogen worden. Dit is echter een dure aangelegenheid, wat in de praktijk alleen betaald zal worden in specifieke gevallen. Voor standaard monitoring van de (precisie)landbouw is het prijskaartje op dit moment te hoog voor dronebeelden. Satellietbeelden zijn in die zin wel kosteneffectief; ze komen meerdere keren per week (Sentinel-2) of zelfs dagelijks (PlanetScope) over en bestrijken in één keer grote delen van Nederland. Een belangrijk aspect hierbij is wel de spectrale nauwkeurigheid of kalibratie van de satellietbeelden. Op dit moment voldoet eigenlijk alleen Sentinel-2 aan de vereiste van voldoende

consistente, atmosferisch gecorrigeerde en onderling vergelijkbare satellietbeelden over de tijd. Hiermee kan daadwerkelijk de hoeveelheid biomassa in absolute zin per perceel worden gevolgd gedurende het seizoen.

De toepasbaarheid van het beeldmateriaal van verschillende sensoren is dus erg afhankelijk van enerzijds de geometrische, spectrale en temporele resolutie en anderzijds de, in dit geval, toepassing binnen de precisielandbouw. Middels kwaliteitsprotocollen (Tabel 6 en Tabel 7) worden handvaten aangereikt voor het gebruik van verschillende soorten drone- of satellietbeelden voor specifieke landbouwdoeleinden.

1 Inleiding

De uitwisseling van zowel satellietdata als dronedata binnen en met een bedrijfsmanagementsysteem (BMS) is technisch niet zo moeilijk, het gaat immers om rasterdata die relatief eenvoudig uit te wisselen zijn. Echter, de data zijn vaak niet zonder meer te gebruiken. Dit heeft te maken met een veelvoud aan factoren (o.a. atmosfeer, wolken, georeferentie, opnametijdstip, kijkhoek en sensorspecificaties).

In deze sprint is ten eerste onderzocht in hoeverre verschillende drone- en satellietbeelden onderling uitwisselbaar en te gebruiken zijn. Ten tweede: als er afwijkingen zijn, waar komt dat door en is het te verhelpen. Daarnaast is er een kwaliteitstoets opgesteld dat een handvat geeft om de verschillende drone- en satellietdata te kunnen beoordelen op gebruik en eventuele tekortkomingen.

Uitvoering geschiedde middels een pilotstudie waarin we diverse drone- en satellietbeelden van hetzelfde gebied en dezelfde periode gebruiken om de impact van de verschillende factoren te beoordelen, zowel beschrijvend als kwantitatief.

Hiervoor is in de tweede helft van 2021 een inventarisatie uitgevoerd van de beschikbaarheid van drone- en satellietdata. Hieruit kwam naar voren dat de NPEC-proefpercelen op Wageningen Campus een geschikte pilot zijn. In 2020 hebben meerdere operators, drones en sensoren opnames gemaakt voor dit gebied. Op sommige dagen zijn er meerdere droneopnames geweest. Ook satellietbeelden zijn ruimschoots voorradig middels satellietdataportaal.nl en de Groenmonitor.nl. Ook is een aantal PlanetScope-beelden meegenomen in het onderzoek; deze zijn beschikbaar gesteld door het platform Bioscope.nl.

2 Opzet onderzoek

In 2021 en 2022 is een gedetailleerde analyse uitgevoerd naar de verschillen en overeenkomsten tussen de diverse drone- en satellietbeelden en de factoren die dit veroorzaken. De analyse is zowel beschrijvend als kwantitatief uitgevoerd.

2.1 Deelonderzoeken

Het project is onderverdeeld in vier deelonderzoeken.

2.1.1 Geometrische nauwkeurigheid

Het eerste deelonderzoek kijkt naar de geometrische aspecten van drone- en satellietbeelden. Het gaat hier vooral om inzicht te geven en antwoord te krijgen op vragen als:

- Met welke pixelresolutie kun je wat (blad, plant, rij, patronen, perceel) zien? Met dronebeelden kun je uiteraard meer detail onderscheiden dan met satellietbeelden. Maar de vraag is wanneer een resolutie toereikend is voor welke toepassing. Dit uiteraard in relatie tot de kosten en arbeid.
- Hoe nauwkeurig is de georeferentie? Met behulp van zeer nauwkeurig geogerefererde luchtfoto's met hoge resolutie (10 cm) is gekeken in hoeverre de drone- en satellietbeelden goed liggen en wat hun eventuele afwijking is. Ook is inzichtelijk gemaakt in hoeverre een afwijking acceptabel is voor de specifieke toepassing.

In 2021 is een inventarisatie gemaakt van beschikbare drone- en satellietbeelden (zie sectie 3), welke in 2022 is gebruikt voor deze analyse.

2.1.2 Spectrale nauwkeurigheid

Het tweede onderdeel van dit onderzoek is een analyse van de spectrale nauwkeurigheid van de verschillende sensoren. Het gaat dan om vragen als:

- In hoeverre komen de reflectiewaardes overeen van verschillende sensoren? Wat zijn de oorzaken van deze verschillen? Is het mogelijk om hiervoor te kalibreren of te corrigeren? En hoeveel moeite kost dat?
- In hoeverre kun je (NDVI, en eventueel CI & NDRE) tijdsreeksen opbouwen van verschillende sensoren?
- In hoeverre is een beeld ook in absolute zin consistent en zijn de spectrale waardes of vegetatie-indices dus middels plug-and-play te gebruiken binnen een BMS?

De beschikbare drone- en satellietbeelden zijn bewerkt tot reflectiewaardes en vegetatie-indicatoren om zodoende de absolute en onderlinge nauwkeurigheid vast te stellen middels een vergelijking.

Ook is gekeken in hoeverre reeksen van beelden van een bepaalde sensor consistent zijn. Of dat er toch nog ruis op de lijn zit door bijvoorbeeld atmosferische verschillen waarvoor niet goed genoeg is gecorrigeerd.

Als laatste is een analyse uitgevoerd naar de kalibratiemogelijkheden van de verschillende beelden om te komen tot een uniforme standaard waarmee drone- en satellietbeelden elkaar kunnen aanvullen en ook middels plug-and-play te gebruiken zijn binnen BMS-systemen.

2.1.3 Temporele nauwkeurigheid

Naast geometrische en spectrale nauwkeurigheid is er ook sprake van temporele nauwkeurigheid. Dit is het geval wanneer een tijdsreeks aan data wordt gebruikt voor analyse. Daarbij is het belangrijk dat de tijdsreeks voldoende punten bevat en deze min of meer gelijk verdeeld zijn over de tijd; oftewel er zitten geen grote gaten in de tijdsreeks.

2.1.4 Kwaliteitsprotocol

Op basis van voorgaande deelonderzoeken is een kwaliteitstoets of protocol opgesteld aan de hand waarvan de gebruiker de kwaliteit en uitwisselbaarheid van verschillende drone- en satellietdata kan beoordelen.

2.2 Participatie BMS-ontwikkelaars

Om de mening en inbreng van verschillende BMS-ontwikkelaars op dit onderwerp te horen, is een aantal een-op-een gesprekken met hen georganiseerd in 2022. Verschillende partijen zijn uitgenodigd om deel te nemen aan zo'n gesprek. Met een tweetal BMS-ontwikkelaars is daadwerkelijk gesproken. De bevindingen zijn meegenomen in het resterende onderzoek tijdens deze sprint.

2.3 Eindresultaat

Het uiteindelijke resultaat is dit document, het eindrapport, waarmee spelers in de sector beter kunnen omgaan met het aanbieden van drone- en satellietdata aan boeren en andere gebruikers via softwaresystemen.

3 Satelliet- en dronedata

3.1 Pilotgebied

Voor deze sprint zijn we geïnteresseerd in de (on)mogelijkheden van het gecombineerde gebruik van drone- en satellietdata. Hiervoor is een inventarisatie uitgevoerd welke data beschikbaar zijn voor welke dagen. Dit leverde als pilotgebied de NPEC-velden op de Wageningen Campus op, waar dronedata van verschillende sensoren door verschillende partijen zijn ingevlogen. Zowel Sentinel-2 als SuperView satellietdata kunnen hierbij worden gezocht voor dezelfde locatie. De NPEC-velden liggen ten noorden van de Wageningen Campus (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).



Figuur 1 Ligging NPEC-velden (zie rode omlijning).

3.2 Dronedata

Alle beschikbare dronedata van het pilotgebied zijn opgezocht en de details zijn genoteerd. In Annex 1 is de tabel weergegeven met alle beschikbare dronedata en andere informatie. Alleen de data van 2020 zijn gegeven voor dit gebied.

3.3 Platformen en sensoren

De drones waarmee gevlogen is om deze data te verzamelen, zijn de DJI M210 en de DJI Mavic Pro 2. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het verschil tussen beide drones zichtbaar.



Figuur 2 Drones gebruikt tijdens inwinning data. Links: DJI M210, Rechts: DJI Mavic Pro 2.

Op de droneplatforms kunnen verschillende sensoren worden gezet. Op de DJI M210 kunnen de volgende sensoren worden gemonteerd:

- RGB camera: Zenmuse X5 en de Zenmuse X7
- multispectrale (MS) sensor: Airphen
- hyperspectrale (HS) sensor: Rikola
- thermische sensor: WIRIS

Op de DJI Mavic Pro 2 kunnen de volgende sensoren worden gemonteerd:

- RGB camera: Hasselblad L1D-20c
- multispectrale (MS) sensor: Sequoia

De resolutie die dronebeelden kunnen bereiken, is rond centimeterniveau. Hoe lager de vluchthoogte, hoe hoger de resolutie die behaald kan worden. Denk daarbij aan pixels kleiner dan 1 centimeter. Dit hangt ook volledig af van wat voor soort camera eronder de drone hangt. Een camera met meer megapixels kan ook hogere resoluties behalen.

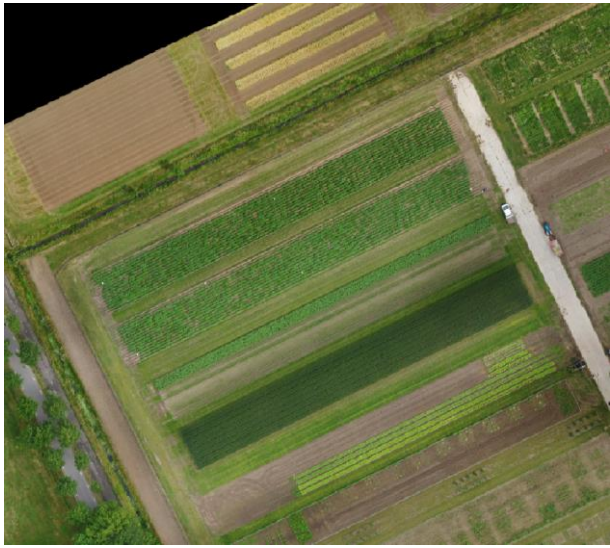
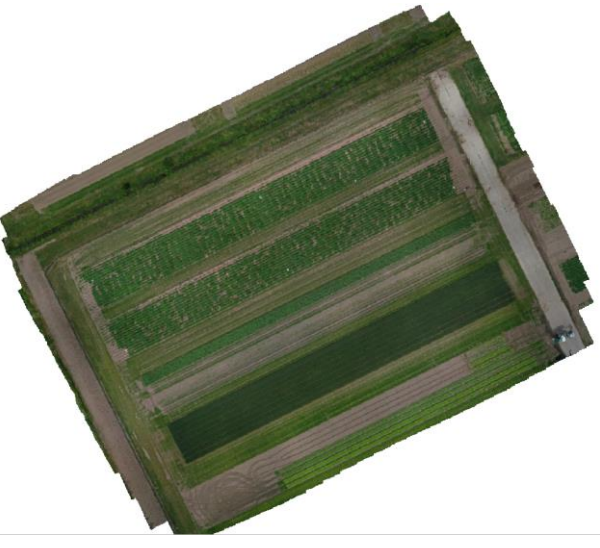




3.4 Datum selectie

Het is de bedoeling dat data vergeleken kunnen worden tussen platforms, operators, sensoren en of ze georeferereerd zijn. De tabel in Annex 2 laat zien welke datum er is en of ze overlappen met een andere operator, platform, camera etc.




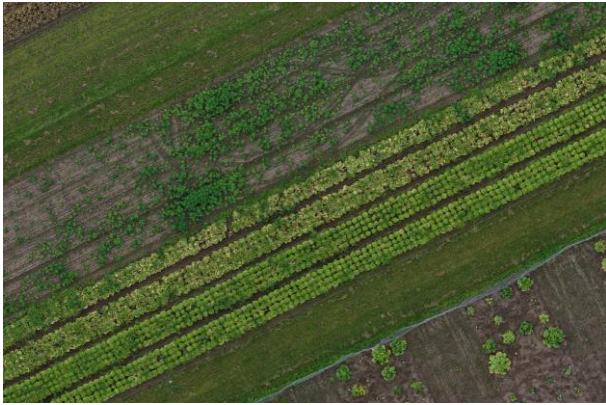


3.5 Eerste verkenning dronebeelden

Als we de data van WENR en Unifarm/Dronewerkers vergelijken, vinden we de opnames in Figuur 3 voor drie dagen waarbij beide partijen hebben gevlogen: 18-06-2020, 17-07-2020 en 20-08-2020.

In Figuur 4 zoomen we in voor één beeld en zien we meer inconsistenties in ruimtelijke resolutie, geo-referentie en spectrale banden ontstaan; we nemen het beeld van 17-07-2020.

WENR	Unifarm/Dronewerkers
	
18-06-2020	18-06-2020
	
17-07-2020	17-07-2020
	
20-08-2020	20-08-2020

Figuur 3 Beschikbare dronebeelden op dagen waarop zowel WENR als Unifarm/Dronewerkers hebben gevlogen met verschillende platforms en camera's.

WENR	Unifarm/Dronewerkers
	
Zoom 1	Zoom 1
	
Zoom 2	Zoom 2
	
Zoom 3	Zoom 3

Figuur 4 *Vergelijking dronebeelden van 17-07-2020 gevlogen door twee partijen met verschillende platforms en camera's.*

In de proefvelden liggen acht vaste Ground Control Points (GCP's), zie Figuur 5 voor een voorbeeld. Deze worden in de dronedata aangegeven met een rode stip. Hierdoor kan worden vergeleken of de dronebeelden geometrisch gecorrigeerd zijn als de rode stippen in het beeld precies op de GCP's liggen.



Figuur 5 Een vast Ground Control Point (GCP) in het NPEC proefveld.

3.6 Satellietdata

In deze overzichten worden alleen de beschikbare satellietbeelden gegeven die onbewolkte opnames voor het NPEC-veld bevatten.

Tabel 1 Overzicht van de gebruikte satellietbeelden in dit project.

Satelliet	Periode	Spectrale banden	Ruimtelijke resolutie	Temporele resolutie
Sentinel-2	Vanaf 2016	B, G, R, NIR	10 m	5 dagen
		Red Edge, NIR, SWIR, MIR	20 m	(2x per 5 dagen in overlap)
		Deep Blue, Cirrus, Water vapour	60 m	
Landsat	Vanaf 2013	Panchromatic	15 m	8 dagen
		Deep Blue, B, G, R, NIR, SWIR, MIR, Cirrus	30 m	(2x per 8 dagen in overlap)
		TIR-1, TIR-2	100 m	
PlanetScope	Vanaf 2015 (2020 via Bioscope)	B, G, R, Red Edge, NIR	3 m	Dagelijks
SuperView	Vanaf 2019 in NSD	Panchromatic	0.5 m	Twee-maandelijks
		B, G, R, NIR	2 m	

Figuur 6 laat satellietopnames van de vier satellietssystemen zien voor het NPEC-proefveld in de periode van 5 tot 9 augustus. Heel duidelijk is de impact van de pixelresolutie te zien. Alleen op de Superview beelden met 0.5m-resolutie is de strokenteelt op het NPEC-perceel duidelijk te onderscheiden. De 3m-resolutie van Planet is nog wel fijn genoeg om 'pure' pixels te geven binnen de stroken, maar de begrenzingen van de stroken zijn vrijwel niet meer te herkennen. Op de Sentinel-2 beelden met 10m-resolutie zijn alleen blokken

met meerdere groene stroken of kale stroken te zien. Zelfs deze blokken zijn niet meer te herkennen op het Landsat-beeld met 30m-resolutie.

	
<p>SuperView 8-Aug-2020 Resolutie 0.5 m</p>	<p>PlanetScope 5-Aug-2020 Resolutie 3 m</p>
	
<p>Sentinel-2 8-Aug-2020 Resolutie 10 m</p>	<p>Landsat 9-Aug-2020 Resolutie 30 m</p>

Figuur 6 RGB-voorbeelden van de gebruikte satellietbeelden en de impact van hun verschillende resoluties op het onderscheidend vermogen van percelen en stroken.

3.6.1 SuperView

Superview is een Chinese satelliet met zeer hoge resolutie van 0.5 panchromatisch en 2 m multispectraal. De satelliet wordt commercieel geëxploiteerd, dat wil zeggen dat de satelliet alleen gericht opnames maakt en niet standaard de hele wereld monitort, zoals Sentinel-2 en Landsat. Via het Satellietdataportaal heeft Nederland toegang tot ongeveer 5 opnames per jaar.

Tabel 2 *Overzicht van de beschikbare Superview-beelden.*

Datum
11-Apr-2020
17-Apr-2020
22-Jun-2020
13-Jul-2020
08-Aug-2020
17-Sep-2020
23-Sep-2020

3.6.2 PlanetScope

PlanetScope is een constellatie van inmiddels meer dan 100 vrijwel identieke satellieten met een hoge resolutie van 3 à 4 m. Door de vele satellieten is het mogelijk om vrijwel dagelijks een opname te maken van dezelfde plek op aarde. De satellietdata worden commercieel geëxploiteerd. In 2015 heeft Nederland al eens toegang gehad tot deze data via het Satellietdataportaal. Een achttiental satellietuitsneden van de Campus zijn beschikbaar gesteld door Bioscope, een initiatief dat tot doel heeft om geo-informatie (satelliet, drone en andere geo-data) beschikbaar te stellen voor precisielandbouwdoeleinden (zie ook www.bioscope.nl).

Tabel 3 *Overzicht van de beschikbare PlanetScope-beelden.*

Datum
24-Maa-2020
21-Apr-2020
28-Mei-2020
26-Jun-2020
04-Aug-2020
05-Aug-2020
19-Aug-2020
11-Sep-2020
17-Sep-2020
18-Sep-2020
20-Sep-2020
21-Sep-2020
03-Nov-2020
06-Nov-2020
23-Nov-2020
05-Dec-2020
17-Dec-2020
25-Dec-2020

3.6.3 Sentinel-2

De Sentinel-2-satelliet is het vlaggenschip van het Europese aardobservatieprogramma. Met een open data policy, resolutie van 10, een opname elke 5 dagen (70% van Nederland zelfs 2x per 5 dagen door overlap van opnames) en 10 spectrale banden in het zichtbare, NIR- en MIR-bereik is het de meest gebruikte satelliet voor landapplicaties zoals de landbouw.

Tabel 4 *Overzicht van de beschikbare Sentinel-2-beelden.*

Datum
16-Jan-2020
07-Feb-2020
17-Feb-2020
21-Maa-2020
23-Maa-2020
26-Maa-2020
28-Maa-2020
31-Maa-2020
05-Apr-2020
07-Apr-2020
10-Apr-2020
12-Apr-2020
15-Apr-2020
17-Apr-2020
20-Apr-2020
22-Apr-2020
27-Apr-2020
07-Mei-2020
12-Mei-2020
27-Mei-2020
01-Jun-2020
06-Jun-2020
21-Jun-2020
24-Jun-2020
26-Jun-2020
19-Jul-2020
31-Jul-2020
05-Aug-2020
08-Aug-2020
02-Sep-2020
14-Sep-2020
17-Sep-2020
19-Sep-2020
22-Sep-2020
24-Sep-2020
03-Nov-2020
18-Nov-2020
23-Nov-2020
16-Dec-2020

In totaal zijn er 39 onbewolkte Sentinel-2 opnames in 2020 van het NPEC-veld. De grootste periode zonder beelden gedurende het groeiseizoen (Mei-Sept) bedraagt 25 dagen (8-Aug tot 2-Sep).

3.6.4 Landsat

Voor de volledigheid worden hier ook nog even de beschikbare wolkenvrije Landsat-beelden gegeven met een resolutie van 30 m. Er draaien momenteel twee Landsat-satellieten om de aarde met een temporele resolutie van 8 dagen en een ruimtelijke resolutie van 30 m in het multispectrale bereik.

Tabel 5 *Overzicht van de beschikbare Landsat-beelden.*

Datum
09-Maa-2020
25-Maa-2020
10-Apr-2020
19-Apr-2020
26-Apr-2020
21-Mei-2020
28-Mei-2020
22-Jun-2020
15-Jul-2020
31-Jul-2020
09-Aug-2020
16-Aug-2020
17-Sep-2020

4 Geometrische nauwkeurigheid

WENR heeft de beelden met en zonder handmatige georeferentie beschikbaar van vrijwel dezelfde datum. Hiermee is het mogelijk het verschil in geometrische nauwkeurigheid goed te laten zien tussen de verschillende GPS-, GPS-RTK- en handmatige georeferentie.

GPS	GPS-RTK	Georeferentie
18-06-2020	18-06-2020	15-06-2020
		
17-07-2020	17-07-2020	17-07-2020
		
20-08-2020	20-08-2020	20-08-2020
		
Gemiddelde afwijking: 157cm	Gemiddelde afwijking: 79cm	Gemiddelde afwijking: 3cm

Figuur 7 Dronebeelden ingevlogen door Unifarm en WENR met verschillende geometrische correctie (links met standaard GPS-locatie, in het midden met RTK ingemeten en rechts met handmatige georeferentie). De afstand tussen de rode stip en de daadwerkelijke GCP's geeft de geometrische onnauwkeurigheid weer.

Figuur 7 toont de resultaten. De rode stippen zijn in alle beelden de x- en y-coördinaten van de handmatig zeer nauwkeurig ingemeten GC-locaties. We zien dat op de GPS-beelden de afstand van rode stip tot GCP-paneel gemiddeld 157 cm is. Voor de GPS-RTK beelden is dat 79 cm en voor de handmatig goedgelegde beelden 3 cm.

De handmatig georeferentieerde beelden leggen de data nauwkeuriger op de juiste plek, waardoor deze onderling op planniveau duidelijk overeenkomen. Zonder georeferentie is dit niet het geval en overlappen planten niet met elkaar. Echter liggen de beelden van WENR (met GPS-RTK) al dicht bij de GCP dan die van Unifarm (met alleen GPS), waar het grootste verschil zelfs 2,75m is.

Het effect van verschillende georeferentie op strook niveau is weergegeven in Figuur 8. Op het WENR-beeld met handmatige georeferentie liggen de strookgrenzen wel correct; op het Unifarm-beeld met alleen GPS-georeferentie liggen de strookgrenzen verschoven naar het noorden. Hoe erg dit is voor precisielandbouwdoeleinden is afhankelijk van de toepassing. Bij bemesting is het wellicht niet zo erg als dit met een onnauwkeurigheid van een halve meter gaat. Als het echter om automatisch wieden gaat, kan het gevolg zijn dat er volledige rijen met planten worden verwijderd.

De niet-correcte ligging van de stroken heeft ook effect op de berekening en analyses met bijv. vegetatie-indices, aangezien nu ook meer kale grond mee wordt genomen in de berekening van bijv. een gemiddelde NDVI per strook of perceel.



Figuur 8 Dronebeelden ingevlogen door Unifarm en WENR met verschillende geometrische correctie (links met handmatige georeferentie en rechts met standaard GPS-locatie). Links liggen de strokengrenzen wel correct; rechts liggen de grenzen te noordelijk.

5 Spectrale en temporele nauwkeurigheid

5.1 Spectrale nauwkeurigheid

Om iets te zeggen over de spectrale nauwkeurigheid vergelijken we de verschillende satellietopnames van verschillende satellieten en drones en op verschillende opnamedagen met elkaar.

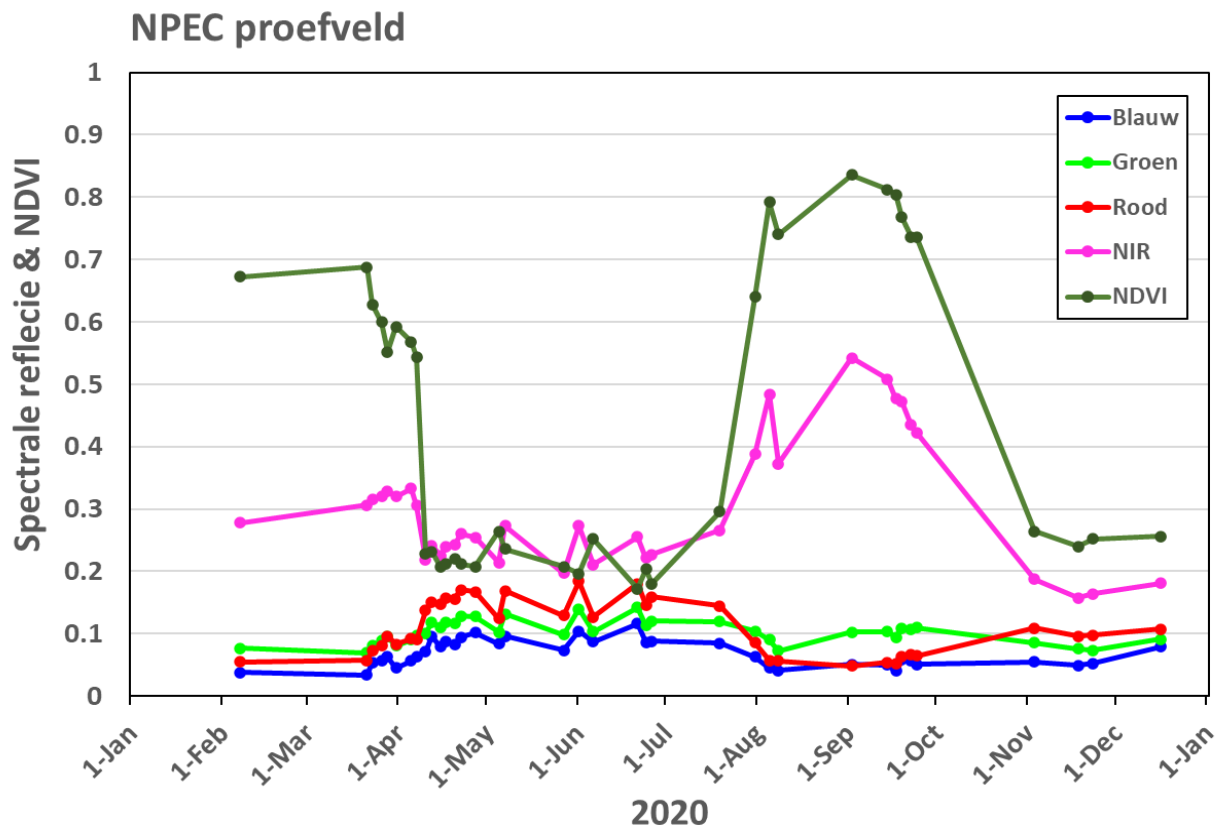
Aangezien de Sentinel-2-satelliet niet meer de afzonderlijke stroken van het NPEC-veld kan onderscheiden met de 10m-resolutie hebben we een nieuwe *area-of-interest* gedefinieerd net boven het NPEC-veld, zoals weergegeven in Figuur 9. Hierbinnen valt een aantal Sentinel-2 pixels wel helemaal en ook komt deze *area-of-interest* (gedeeltelijk) voor op twee dronebeelden, waardoor het mogelijk wordt deze te vergelijken.



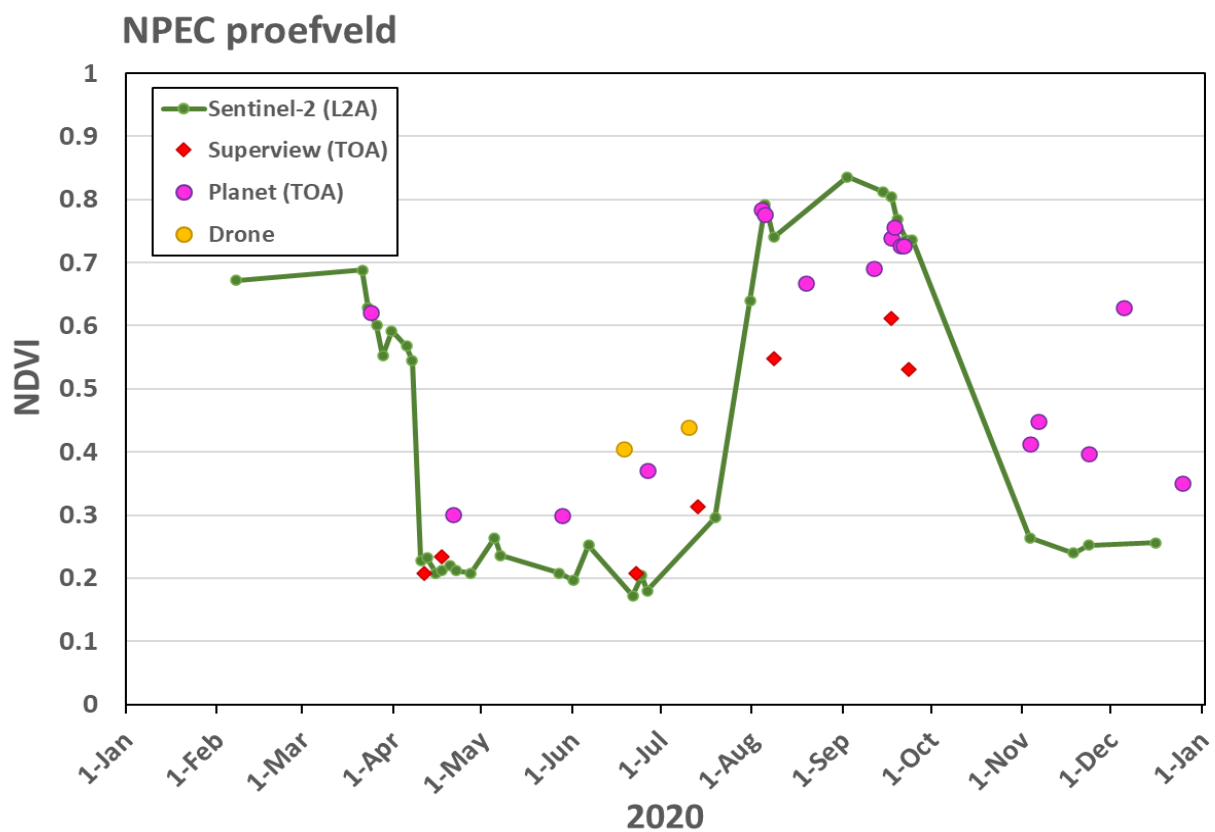
Figuur 9 Locatie van de *area-of-interest* net ten noorden van het NPEC-veld voor de analyse van spectrale nauwkeurigheid van satelliet- en dronebeelden (Superview-beeld van 08-08-2020).

Allereerst wordt de spectrale reflectie van de atmosferische gecorrigeerde Sentinel-2-beelden voor de blauw-, groen-, rood- en NIR-band alsmede de afgeleide NDVI uitgezet in de tijd (Figuur 10). Van de NDVI kunnen we afleiden dat er in de winter tot ongeveer 1 april een vanggewas of groenbemester heeft gestaan, waarna deze is geploegd en ondergewerkt en het hoofdgewas (suikerbieten) ergens begin juli begint te groeien. De Sentinel-2 L2A-beelden zijn op dit moment de meest consistente beelden die er zijn en de tijdsreeksen zijn ook duidelijk te 'lezen'. Toch zit er nog wel ruis op de lijn. De tijdsreeks laat nog steeds kleine verschillen zien tussen twee opeenvolgende tijdstippen, wat je eigenlijk niet op deze manier verwacht. Enerzijds heeft dat te maken met de atmosferische correctieprocedure die nog steeds niet volmaakt is en anderzijds kunnen ook invloeden zoals regenval en bodemvocht een plotselinge impact hebben op het signaal.

De NIR-tijdsreeks laat de meeste ruis zien. Met name in de periode met kale bodem (april-juni) gaat het signaal op en neer en begin augustus laat een hick-up zien, die moeilijk te verklaren is anders dan een niet-correcte atmosferische correctie. De verschillen in het blauwe, rode en groene signaal zijn veel kleiner, maar de reflecties zijn ook veel lager. De ruis op de NDVI-lijn zit daartussenin, aangezien de NDVI een afgeleide is van de rood- en NIR-reflecties.



Figuur 10 De spectrale reflecties en NDVI van het NPEC-veld in 2020, afgeleid van alle beschikbare Sentinel-2 satellietbeelden; het betreft het atmosferische gecorrigeerde L2A-product.



Figuur 11 De NDVI-tijdsreeks van Sentinel-2 (L2A-product) met daarnaast verschillenden NDVI-waardes afkomstig van Superview-, Planet- en dronebeelden.

De spectrale onnauwkeurigheid van de andere sensoren is bestudeerd aan de hand van de NDVI. Voor de area-of-interest is de NDVI ook berekend voor de beschikbare Superview-, Planet- en drone-beelden en toegevoegd aan de NDVI-tijdsreeks van Sentinel-2 in Figuur 11. De meeste NDVI-waarnemingen van andere sensoren wijken af van de Sentinel-2-NDVI-waardes. Dit komt omdat de satellietwaarnemingen niet atmosferisch gecorrigeerd zijn, maar Top-Of-Atmosphere (TOA) waarnemingen zijn. Daarnaast zijn de dronewaarnemingen niet afdoende gekalibreerd.

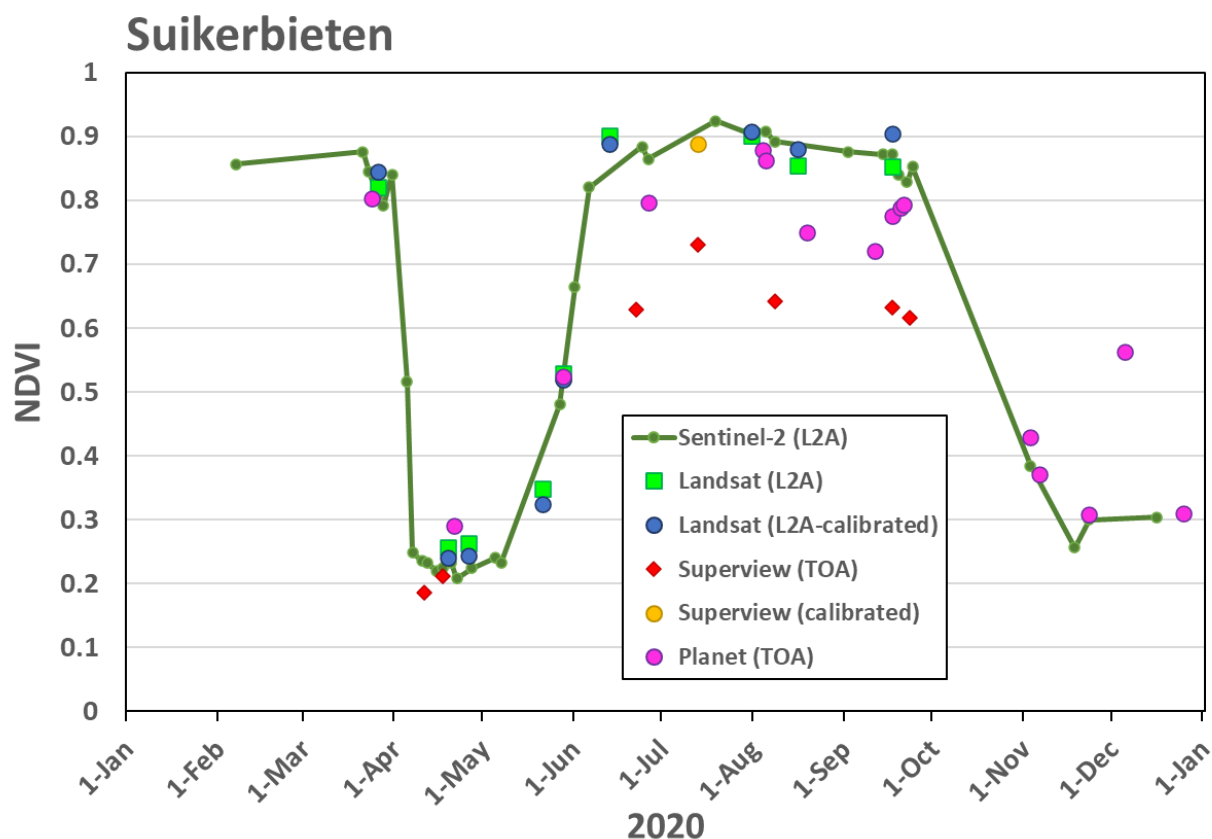
Elke sensor heeft zijn eigen patronen. Zo geeft de Superview NDVI-waardes die min of meer overeenkomen met de kale bodemwaardes van Sentinel-2, maar als het gewas op het veld staat, zijn de NDVI-waardes van Superview te laag. De NDVI-waardes van Planet zijn te hoog voor kale bodem en in de meeste gevallen te laag als er een gewas staat. De ruis tussen de Planet-beelden onderling is duidelijk groter dan bij de Sentinel-beelden.

Helaas zijn er maar twee dronebeelden beschikbaar waarop de nieuwe area-of-interest voorkomt. De NDVI-waardes hiervan liggen duidelijk hoger dan de NDVI-waardes van Sentinel-2, veroorzaakt door de afwezigheid van kalibratiepanelen in het veld met bekende hoge en lage reflecties. Hierdoor heeft het dronebeeld in absolute zin geen 'houvast'.

De Landsat-beelden zijn niet meegenomen in deze analyse, omdat de pixelresolutie te grof is om de area-of-interest puur te observeren. Omdat de area-of-interest sowieso erg klein, is hebben we ook nog gekeken naar een groter perceel met suikerbieten op de WUR-campus (Figuur 12).



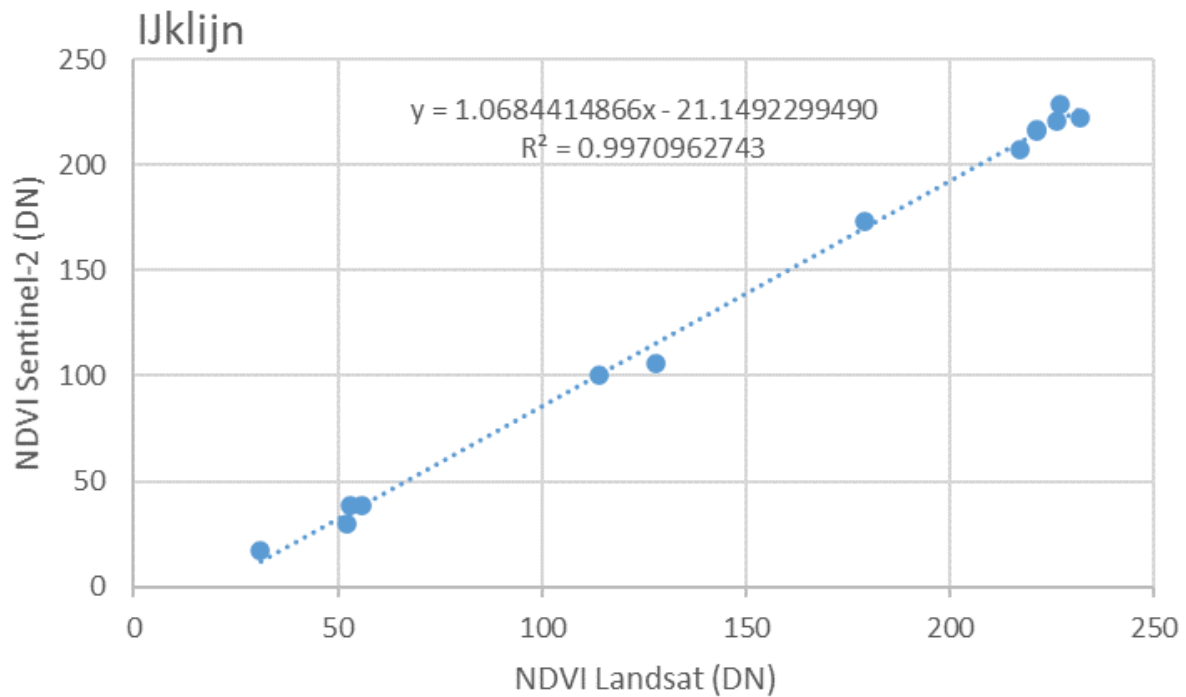
Figuur 12 Screenshot van de Groenmonitor.nl met daarop het nader bestudeerde suikerbietenveld en de NDVI-tijdsreeks uit 2020, bestaande uit Sentinel-2- en gekalibreerde Landsat-waarnemingen.



Figuur 13 De NDVI-tijdsreeks van Sentinel-2 (L2A-product) met daarnaast verschillende NDVI-waarden afkomstig van Landsat (L2A en extra handmatige kalibratie), Superview (TOA en handmatig kalibratie) en Planet (TOA).

In dit suikerbietenperceel vallen ook Landsat-pixels; helaas zijn er geen dronebeelden beschikbaar voor dit perceel. Het blijkt dat de atmosferisch gecorrigeerde L2A-reflecties en NDVI's van Sentinel-2 en Landsat redelijk goed in lijn met elkaar liggen. Toch wordt voor de Groenmonitor.nl Sentinel-2 als uitgangspunt genomen en wordt elk additioneel Landsat-beeld nogmaals handmatig gekalibreerd naar het in tijd dichtstbijzijnde gelegen Sentinel-2-beeld. Zodoende kan gegarandeerd worden dat de NDVI-tijdsreeks in absolute zin correct en consistent is. Een voorbeeld van zo'n ijklijn is te vinden in Figuur 14.

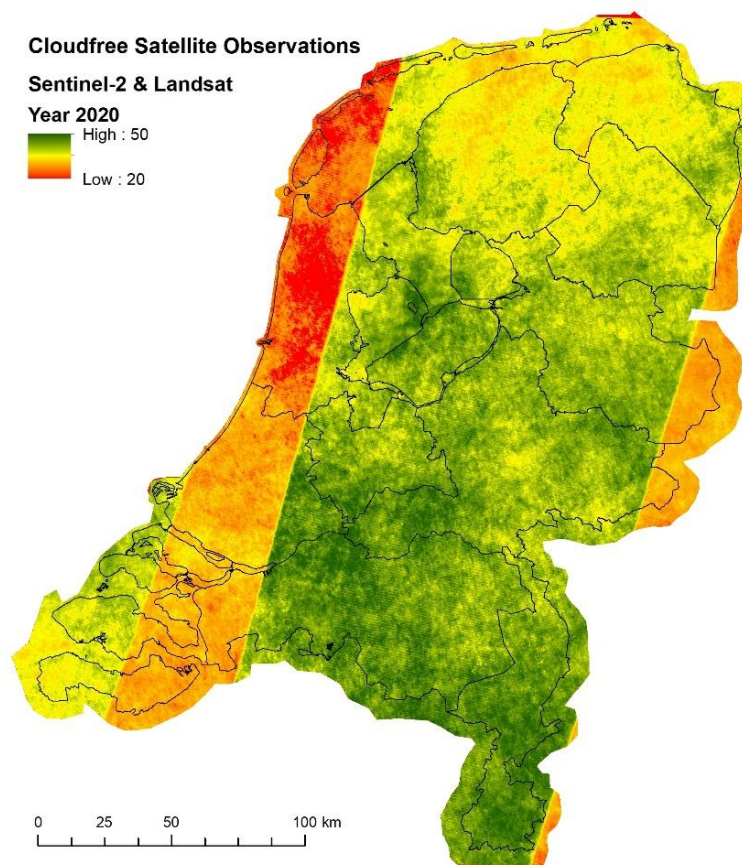
De Superview- en Planet-waarnemingen laten weer dezelfde grillige patronen zien als voor de area-of-interest nabij het NPEC-veld. Voor de groenmonitor.nl is destijds ook een Superview-beeld handmatig gekalibreerd op dezelfde methode als in Figuur 14. Dit is de gele punt in Figuur 13. Op deze manier is het wel mogelijk om de TOA-NDVI-waarden te kalibreren. Helaas is dit proces lastig te automatiseren, omdat vooral hoge NDVI-waarden erg dynamisch zijn en dus geen vaste locaties voor de kalibraties kunnen worden gebruikt. Theoretisch is het echter wel mogelijk om ook in absolute zin de spectrale nauwkeurigheid van de verschillende satellietsensoren op elkaar te laten aansluiten.



Figuur 14 Kalibratie- en ijklijn van het Landsat-beeld van 7-Aug-2020 met het Sentinel-2-beeld van 08-08-2020.

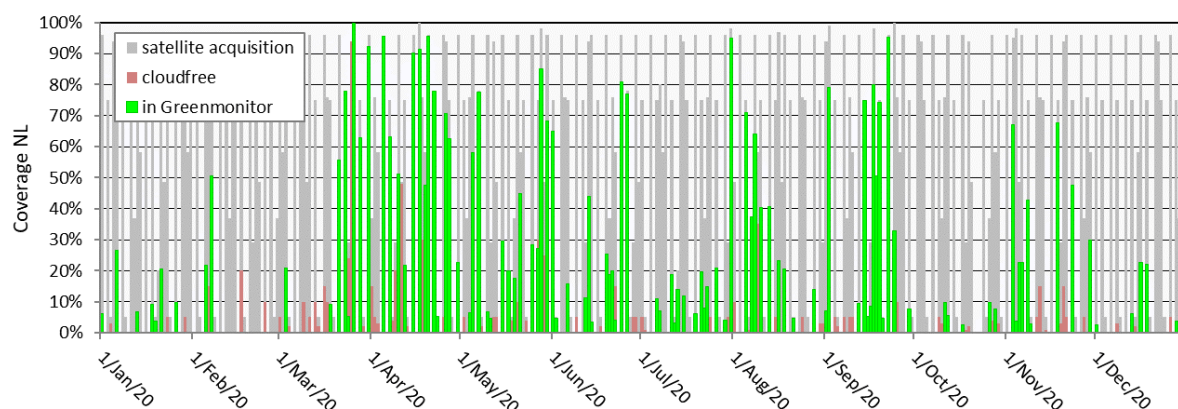
5.2 Temporele nauwkeurigheid

Zoals al eerder aangegeven, heeft Sentinel-2 de meeste opnames wereldwijd van de open data satellietssystemen. Als we deze met Landsat combineren, zoals in de Groenmonitor.nl, komen we tot een temporele resolutie van gemiddeld 37 wolkenvrije waarnemingen per pixel in Nederland in 2020. Door de verschillende opname-stoken van Sentinel-2 en Landsat is dit echter niet gelijkmatig verdeeld over Nederland zoals blijkt uit een strook in het oosten en westen, waar aanmerkelijk minder satellietopnames zijn. Voor deze laatste gebieden kunnen commerciële systemen, zoals PlanetScope, een uitkomst bieden.



Figuur 15 Onbewolkte Sentinel-2- en Landsat-observaties per pixel, beschikbaar in de Groenmonitor.nl in 2020 over Nederland.

De verdeling over de tijd van onbewolkte satellietbeelden is ook niet gelijk verdeeld, zoals blijkt uit Figuur 16. Er zijn periodes met aanmerkelijk meer onbewolkte beelden dan andere periodes (bijv. de relatief bewolkte periode in juli 2020). De grilligheid van het weer laat zich niet sturen en er moet dan ook rekening mee worden gehouden dat met optische satellietssystemen er altijd wel periodes zullen zijn met minder opnames. Of dit te weinig is, is weer afhankelijk van de toepassing. Zo heb je bij het detecteren van een groenbemester slechts een of enkele opnames in de winter nodig, terwijl je voor het compleet detecteren van alle maaisnedes je minimaal één wolkenvrije opname per week nodig hebt.



Figuur 16 Temporele verdeling van bewolkte en onbewolkte satellietbeelden beschikbaar in de Groenmonitor.nl in 2020 over Nederland.

6 Kwaliteitsprotocol

6.1 Opinie experts

Er zijn in Nederland meerdere bedrijven die satellietbeelden verwerken en leveren aan gebruikers in de agro-keten (boeren, agro-processors etc.). Met twee ervan hebben we een gesprek gevoerd om hun mening te peilen rondom de geometrische, spectrale en temporele nauwkeurigheid van drone- en satellietbeelden in relatie tot precisielandbouwdoeleinden.

Dacom, de maker van BoerEnBunder.nl, werkt vooral met Sentinel-2-data vanwege de temporele beschikbaarheid. SuperView is te nauwkeurig en maakt opslag moeilijk, is alleen voor Nederland en is niet met grote regelmaat beschikbaar. Landsat is te grof. Het wolkenmasker dat standaard geleverd wordt bij de Sentinel-2-beelden, wordt gebruikt. Het proces om de satellietbeelden om te zetten naar meer gebruiksvriendelijke data is geautomatiseerd. De Sentinel-2-data worden vooral gebruikt om patronen binnen percelen te herkennen en daarop actie te ondernemen. Tijdsreeksen van Sentinel-2 NDVI-data worden wel geleverd per perceel, maar slechts als gimmick. Er is interesse in de mogelijkheden naar het gebruik van Sentinel-1 SAR-data in aanvulling op Sentinel-2.

AeroVision gebruikt veel meer platformen voor monitoring. Sentinel2, SuperView, TripleSat, Planet, Spot, maar ook drones. Al deze data worden verwerkt binnen het Bioscope-platform (zie www.bioscope.nl). Het Bioscope-platform levert o.a. beeldmateriaal aan het Akkerweb-platform voor precisielandbouw. Leverzekerheid is cruciaal voor Bioscope. Zo kan een boer of andere afnemer een contract afsluiten voor het wekelijks leveren van een biomassa (NDVI) kaart. Daarvoor worden in eerste instantie satellietdata gebruikt. Als deze niet beschikbaar zijn, kan er worden gevlogen met een drone. Alleen is deze optie wel zo duur dat het in de praktijk bijna niet wordt afgenomen. Daarom is de focus van Bioscope nu om zo veel mogelijk met satellietdata te werken. Het doel is om op het juiste ogenblik een biomassa-kaart te leveren waarop de patronen binnen het veld goed in beeld zijn gebracht. Daarbij gaat het er niet om of de biomassa-waarden (bijv. NDVI) in absolute zin kloppen, want een boer moet toch nog zijn acties koppelen aan de maximale en minimale waarden van het beeld; bijv. bij loofdoding de maximale en minimale dosering instellen. Men is zeker geïnteresseerd in toepassingen op basis van absoluut correcte NDVI-waarden en tijdsreeksen, maar denkt dat op dit moment de tijd nog niet rijp is om de verschillende sensoren te koppelen en onderling te kalibreren.

Er zijn nog wel meer aanbieders van satellietdata voor landbouwtoepassingen; deze waren echter niet beschikbaar om aan dit onderzoek mee te doen.

Tabel 6 Overzicht van pixelresolutie vs. detailniveau aangaande precisielandbouw.

Detail niveau	Landsat (30m)	Sentinel-2 (10m)	Planet (3m)	Superview (0.5 m)	Drone (1-10 cm)
Perceel (1 ha)	V	V	V	V	V
Patronen binnen het perceel	-	V	V	V	V
Strokkenteelt (20 m breed)	-	-	V	V	V
Individuele plant	-	-	-	-	V (maar door wind mogelijk niet dezelfde locatie)
Blad	-	-	-	-	-

6.2 Pixelresolutie

Op basis van dit onderzoek hebben we geprobeerd aan te geven welke resolutie- of sensorsystemen geschikt zijn voor welk detailniveau. Het detailniveau gaat van blad- tot perceelniveau. Het blijkt dat geen enkel systeem correct op bladniveau kan detecteren. Dit komt enerzijds doordat je dan op maximaal 1 cm niveau moet georefereren – wat in de praktijk niet haalbaar is – en anderzijds doordat de weersomstandigheden (wind) ervoor zorgen dat bladeren nooit op exact dezelfde positie in de tijd liggen.

Op plantniveau is dit te doen met handmatig gecorrigeerde dronebeelden, wat ook niet een geweldige oplossing is, want erg arbeidsintensief en duur. De hogere resolutiebeelden van Superview en in mindere mate Planet zijn geschikt voor het monitoren van strokenteelt. En de open data van Sentinel-2 zijn prima geschikt om patronen binnen een typisch Nederlands perceel van 1 ha te karteren. Landsat is alleen geschikt om de gemiddelde waarde van ditzelfde veld te geven.

Tabel 7 *Overzicht gebruik van verschillende drone en satellietbeelden vs. precisielandbouwtoepassingen.*

Precisieland- bouwtoepassing	RGB luchtfoto	Landsat	Sentinel-2	Planet	Super-view	Drone-GPS	Drone-RTK
Visuele inspectie	V	V	V	V	V	V	V
Plaats-specifieke bemesting en gewasbescherming	-	-	V	V	V	V	V
Detectie zieke planten	V	-	-	-	-	V	V
Wiedrobot	-	-	-	-	-	-	V
Biomassa kwantificering	-	V (ook in absolute zin)	V (ook in absolute zin)	V	V	V	V
Opbrengst-voorspelling	-	-	V (m.b.v. tijdsreeksen)	?	-	-	-

6.3 Precisielandbouwtoepassingen

Eenzelfde interpretatie hebben we gedaan voor de toepasbaarheid van de verschillende sensorsystemen voor de verschillende precisielandbouwtoepassingen.

Allereerst de makkelijkste toepassing en dat is visuele inspectie van de beelden, wat natuurlijk op alle kaartmateriaal kan. Als we het hebben over plaats-specifieke bemesting en gewasbescherming dient het beeld de patronen binnen het veld weer te geven en dient er een vegetatie-index te kunnen worden afgeleid. De eerste vereiste is niet mogelijk bij Landsat en de laatste niet bij een RGB-luchtfoto.

De detectie van zieke planten is mogelijk als planten individueel kunnen worden gedetecteerd zoals bij een luchtfoto of een dronebeeld. Om dan ook een wiedrobot met deze beelden te kunnen laten werken, dienen de beelden op maximaal enkele decimeters goed te liggen, wat alleen het geval is bij dronebeelden die met GPS-RTK zijn ingevlogen.

Voor de biomassa kwantificering is een rode en een NIR spectrale band nodig, wat meestal wel het geval is. Als je dan ook een opbrengstvoorspelling wilt uitvoeren, is er een dichte tijdsreeks van consistente gekalibreerde satellietbeelden nodig, die op dit moment eigenlijk alleen standaard geleverd wordt door Sentinel-2 (eventueel met Landsat-beelden ter aanvulling).

De toepasbaarheid van het beeldmateriaal van verschillende sensoren is dus erg afhankelijk van enerzijds de geometrische, spectrale en temporele resolutie en anderzijds de toepassing binnen – in dit geval – de landbouw.

7 Conclusies

De kwaliteit en bruikbaarheid van drone- en satellietbeelden van verschillende aanbieders zijn erg verschillend, afhankelijk van hun bewerkingsniveau en de inspanningen die aanbieders doen om kwaliteit te leveren. In dit onderzoek hebben we de geometrische, spectrale en temporele nauwkeurigheid van deze beelden onderzocht als ze binnen de landbouwsector worden toegepast.

Dronebeelden met een georeferentie alleen op basis van GPS hebben een geometrische onnauwkeurigheid die al gauw kan oplopen tot boven de meter (gemiddeld 157 cm). Met GPS-RTK ingevlogen dronebeelden hebben een gemiddelde onnauwkeurigheid van 79 cm. Dit is een verbetering, maar nog onvoldoende als we naar plant-specifieke informatie en precisielandbouw op plantniveau willen. In deze casestudy hebben alleen handmatig geometrisch gecorrigeerde beelden een zeer hoge nauwkeurigheid van slechts 3 cm, wat voldoende zou zijn voor precisielandbouw op plantniveau.

De huidige stand van zaken is dat satellietbeelden automatisch kunnen worden gegeoreferenciert met een nauwkeurigheid van een halve pixel. Dit betekent dat de makers en aanbieders van de satellietsensoren en -beelden deze nu volautomatisch kunnen recht leggen tot op pixelniveau. In het geval van Sentinel-2-beelden (resolutie 10 m) betekent dat een afwijking van ten hoogste 5 m.

De spectrale nauwkeurigheid is ook erg afhankelijk van het bewerkingsniveau. Alleen Sentinel-2 en Landsat kennen op dit moment een standaard atmosferische correctie (zogenaamde L2A-product), waardoor consistente tijdsreeksen kunnen worden verkregen die ook in absolute zin correct reflectie- en vegetatie-index (NDVI) waarden weergeven. De andere satellietsystemen (in deze studie Superview en PlanetScope) geven soms grillige afwijkingen, omdat het Top-Of-Atmosphere producten zijn. Deze zijn echter wel middels een handmatige kalibratie te corrigeren. Wellicht dat over enkele jaren dit proces verder geautomatiseerd zal worden door de verschillende satellietaanbieders en -processors.

De spectrale nauwkeurigheid van dronebeelden laat ook te wensen over en dronebeelden zijn dan ook zeker niet zo te gebruiken in aanvulling op satellietbeelden. Dezelfde velden op dezelfde dagen kunnen geheel andere spectrale waarden geven. Alleen met additionele (handmatige) kalibratie of het gebruik van kalibratiepanelen in het veld is dit op te lossen. Veelzeggend hierin is dat het Bioscope-platform min of meer is afgestapt van hun initiële insteek op gecombineerd satelliet- en dronegebruik vanwege de hoge kosten van de laatstgenoemde beelden en nu veel meer inzet op het extra inkopen van satellietbeelden (PlanetScope).

De temporele nauwkeurigheid van dronebeelden kan erg groot zijn; ze kunnen immers dagelijks, zo niet meerdere keren per dag gevlogen worden. Dit is echter een dure aangelegenheid, wat in de praktijk alleen betaald zal worden in specifieke gevallen. Voor standaardmonitoring van de (precisie)landbouw is het prijskaartje op dit moment te hoog voor dronebeelden. Satellietbeelden zijn in die zin wel kosteneffectief; ze komen meerdere keren per week (Sentinel-2) of zelfs dagelijks (PlanetScope) over en bestrijken in één keer grote delen van Nederland. Een belangrijk aspect hierbij is wel de spectrale nauwkeurigheid of kalibratie van de satellietbeelden. Op dit moment voldoet eigenlijk alleen Sentinel-2 aan de vereiste van voldoende consistente, atmosferisch gecorrigeerde en onderling vergelijkbare satellietbeelden over de tijd. Hiermee kan daadwerkelijk de hoeveelheid biomassa in absolute zin per perceel worden gevolgd gedurende het seizoen.

De toepasbaarheid van het beeldmateriaal van verschillende sensoren is dus erg afhankelijk van enerzijds de geometrische, spectrale en temporele resolutie en anderzijds de, in dit geval, toepassing binnen de precisielandbouw. Middels kwaliteitsprotocollen (Tabel 6 en Tabel 7) worden handvaten aangereikt voor het gebruik van welke drone- of satellietbeelden voor welk gebruik.

Annex 1 Beschikbare dronedata gesorteerd op datum

Datum	Operator	Platform	Camera	Bands	Verwerkt/ruw	Georeferenced
20200410	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200410	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200508	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200508	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200513	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	
20200514	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200514	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200519	WENR	DJI M210	WIRIS	Thermisch	Verwerkt	
20200519	WENR	DJI M210	Rikola	Hyperspectral	Verwerkt	
20200519	WENR	DJI M210	X5	RGB	Verwerkt	
20200520	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200520	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200605	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200605	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200605	WENR	?	?	?	Verwerkt	Georeferenced
20200612	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200612	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200615	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	
20200615	Unifarm	DJI M210	Airphen	Multispectraal	Ruw	
20200615	Unifarm	DJI M210	Flir Tau	Thermisch	Ruw	
20200615	Unifarm	DJI M210	X5	RGB	Ruw	
20200615	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200618	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	
20200618	WENR	DJI M210	Rikola	Hyperspectral	Verwerkt	
20200618	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200618	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200626	Unifarm	DJI M210	Airphen	Multispectraal	Ruw	
20200626	Unifarm	DJI M210	Flir Tau	Thermisch	Ruw	
20200626	Unifarm	DJI M210	X5	RGB	Ruw	
20200626	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200626	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200703	Unifarm	DJI M210	Airphen	Multispectraal	Ruw	
20200703	Unifarm	DJI M210	Flir Tau	Thermisch	Ruw	
20200703	Unifarm	DJI M210	X5	RGB	Ruw	
20200703	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200703	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200703	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200710	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200710	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200710	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200717	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	
20200717	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200717	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200717	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200721	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200721	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200721	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200722	Unifarm	DJI M210	Airphen	Multispectraal	Ruw	
20200722	Unifarm	DJI M210	Flir Tau	Thermisch	Ruw	
20200722	Unifarm	DJI M210	X5	RGB	Ruw	

Datum	Operator	Platform	Camera	Bands	Verwerkt/ruw	Georeferenced
20200723	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	
20200723	WENR	DJI M210	Rikola	Hyperspectral	Verwerkt	
20200723	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200807	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200807	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200807	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200813	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200813	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200813	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200820	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	
20200820	WENR	DJI M210	Rikola	Hyperspectral	Verwerkt	
20200820	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200820	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200820	WENR	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200820	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	Georeferenced
20200828	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200828	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200902	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Hasselblad L1D-20c	RGB	Verwerkt	
20200902	Unifarm	DJI Mavic 2 Pro	Sequoia	Multispectraal	Verwerkt	
20200910	WENR	DJI M210	X7	RGB	Verwerkt	

Annex 2 Data uitgezet voor platform, operator, camera en georeferentie

WENR					Unifarm/Dronewerkers						
M210				M210 georef	Mavic	Mavic georef		M210			Mavic
RGB X5	RGB X7	HS Rikola	Thermisch WIRIS	RGB X7	RGB Hasselblad	RGB Hasselblad	RGB X5	MS Airphen	Thermisch Flir Tau	RGB Hasselblad	MS Sequoia
					10-04-2020	10-04-2020					
										08-05-2020	08-05-2020
	13-05-2020										
										14-05-2020	
19-05-2020		19-05-2020	19-05-2020								
										20-05-2020	20-05-2020
										05-06-2020	05-06-2020
										12-06-2020	12-06-2020
	15-06-2020			15-06-2020			15-06-2020*	15-06-2020*	15-06-2020*		
18-06-2020		18-06-2020								18-06-2020	18-06-2020
							26-06-2020*	26-06-2020*	26-06-2020*	26-06-2020	26-06-2020
						03-07-2020	03-07-2020	03-07-2020	03-07-2020	03-07-2020	03-07-2020
						10-07-2020				10-07-2020	10-07-2020
17-07-2020						17-07-2020				17-07-2020	17-07-2020
						21-07-2020				21-07-2020	21-07-2020
							22-07-2020*	22-07-2020*	22-07-2020*		
23-07-2020		23-07-2020		23-07-2020							
						07-08-2020				07-08-2020	07-08-2020
						13-08-2020				13-08-2020	13-08-2020
20-08-2020		20-08-2020		20-08-2020		20-08-2020				20-08-2020	20-08-2020
										28-08-2020	28-08-2020
										02-09-2020	02-09-2020
10-09-2020											

*= ruwe data

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3301
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3301
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

