

EINDRAPPORT

Smart Growers WP5

Remote sensing bij asperge, laanbomen, blauwe bes en peer

Februari 2023

Auteurs:

Bjorn Rombouts, Joke Vandermaesen – proefcentrum fruitteelt vzw (pcfruit)

Onno Bes, Renik Van den Eynde - Proefstation voor de Groenteteelt vzw (PSKW)

Jeroen Lambin - Proefcentrum voor Sierteelt (PCS)

Bas Tulkens – Compas Agro



Wijze van refereren

Rombouts, B., Bes, O., Van den Eynde, R., Lambin, J., Tulkens, B., Vandermaesen, J. (2023) Remote sensing voor asperge, laanbomen en blauwe bes. Rapport Interreg project 'Smart Growers', 27 p.

Inhoud

1.	Inleiding	3
2.	Asperge: Lekken in de druppelleidingen opsporen met thermale 2D-dronebeelden	4
2.1	Methode van opsporen	5
	Temperatuurkaart maken van een perceel	5
	Moment van uitvoeren	5
	Alternatief voor thermale camera	7
2.1	Besluit	7
3.	Asperge: Groei van het gewas bepalen uit 3D-puntenwolken en multispectrale 2D-dronebeelden als basis voor opbrengstvoorspelling	8
3.1	Methodiek	8
3.2	Besluit	10
4.	Sierteelt: Inventarisatie van de kwaliteit	10
4.1	De kleur van het blad uit multispectrale 2D-dronebeelden	11
4.2	De vorm van de boom uit 3D-puntenwolken	11
4.3	Besluit	12
5.	Blauwe bes: Tellen van de bloemen in beelden van de zijkant als basis voor opbrengstvoorspelling	13
5.1	Methodiek	13
5.2	Besluit	15
6.	Peer: Wortelsnoei aansturen op basis van multispectrale 2D-dronebeelden of 3D-puntenwolken	15
6.1	Methodiek	15
6.2	Besluit	17
7.	Conclusies	18
8.	Dankwoord	19
Bijlage 1.	Overzicht van de uitgevoerde dronevluchten per demonstratieperceel	20
Bijlage 2.	Meta-analyse voor het aspergeperceel te Kinrooi	21
Bijlage 3.	Verband tussen dronegebaseerde gewasindices en velddata bij asperge	23
Bijlage 4.	Verband tussen NDRE/NDVI en planthoogte bij Prunus	26
Bijlage 5.	Beelden van de camera-opstelling voor bloemdetectie bij blauwe bes	27

1. Inleiding

Remote sensing laat toe om vanop afstand de toestand van een perceel te monitoren en een gedetailleerd beeld te genereren van de variatie binnen het perceel. Verschillende camera's en sensoren kunnen gebruikt worden om bepaalde parameters af te leiden, zoals gegevens over droogtestress uit beelden van thermale camera's of vegetatie-indices uit beelden van multispectrale camera's. Wanneer deze parameters afwijken voor bepaalde delen in het perceel, voor individuele planten of voor het ene perceel ten opzichte van het andere, kan dit wijzen op problemen met het gewas, zoals gebreksverschijnselen en de aanwezigheid van bepaalde ziektes of plagen. De potentiële meerwaarde van remote sensing zit dus in het vroegtijdig opsporen van problemen en de mogelijkheid om in te grijpen enkel daar waar nodig, waardoor bespaard kan worden op grondstoffen en negatieve milieu-effecten van gewasbescherming en bemesting gereduceerd worden. Bovendien heerst er in alle teelten een tendens van schaalvergroting, waarbij het aantal land- en tuinbouwbedrijven daalt maar het gemiddelde areaal per bedrijf stijgt. Hierdoor wordt het steeds moeilijker voor de teler om het overzicht over de verschillende percelen te bewaren en bijvoorbeeld elk perceel te screenen op de aanwezigheid van bepaalde problemen. Hier bieden remote sensing technieken een grote meerwaarde om, vanop afstand, het overzicht over de percelen te bewaren. Daarom onderzochten we welke meerwaarde remote sensing technieken kunnen bieden bij de teelt van blauwe bes, peer, asperge en bij boomkwekerij in volle grond.

De mogelijkheden van remote sensing zijn uiteenlopend: er kunnen verschillende types camera's/sensoren (RGB, multispectraal, thermaal, LiDAR) gebruikt worden en deze kunnen op verschillende manieren het gewas in beeld brengen. Voor bepaalde toepassingen zal het volstaan om een 2D-beeld te genereren, waarbij de camera op een drone gemonteerd wordt en recht naar beneden kijkt. De teelten in dit project zijn echter driedimensionale teelten, waarbij waardevolle informatie vaak enkel in beeld kan gebracht worden vanaf de zijkant. Hiervoor bestaan drie mogelijkheden. Ten eerste kunnen RGB-camera's op drones onder een hoek geplaatst worden om het gewas vanuit verschillende hoeken te fotograferen. Door deze beelden te combineren met elkaar worden driedimensionale "puntenwolken" gegenereerd. Ten tweede kunnen dergelijke puntenwolken ook gegenereerd worden door het gebruik van een LiDAR-sensor die ofwel onder een drone ofwel op een rijdend voertuig gemonteerd wordt. Ten derde kunnen gewone RGB-camera's ook gemonteerd worden op voertuigen die tussen het gewas door rijden, zoals tractoren. Welke techniek het meest bruikbaar is, hangt af van de beoogde toepassing.

Bij de start van het project selecteerden we voor elk gewas enkele mogelijke toepassingen van remote sensing die qua haalbaarheid en meerwaarde voor de teelt naar verwachting het meeste potentieel zouden bieden (zie Tabel 1). Vervolgens werden in 2020-2022 dronevluchten uitgevoerd op in totaal 12 demonstratiepercelen met de verschillende types camera's (zie Bijlage 1). Op een bijkomend perceel blauwe bessen in America (NL) werd tijdens de bloei in 2021 en 2022 bovendien meermaals beeldmateriaal verzameld met een camera-opstelling op tractor, ontwikkeld door Blue Engineering.

Tabel 1. Geselecteerde toepassingen per gewas

Toepassing	Gewas*				Camera/Sensor**				Beeld	
	BB	Asp.	LB	Peer	RGB	MS	Th	LiDAR	2D	3D
Droogtestress monitoren	X	X	X			X	X		X	
Opbrengstvoorspelling	X	X			X	X				X
Ziekte-/plaagdetectie		X	X		X	X			X	
Groei/Kwaliteit		X	X	X	X	X		X	X	X

*BB = blauwe bes, Asp. = asperge, LB = laanbomen

** MS = multispectraal, Th = thermaal

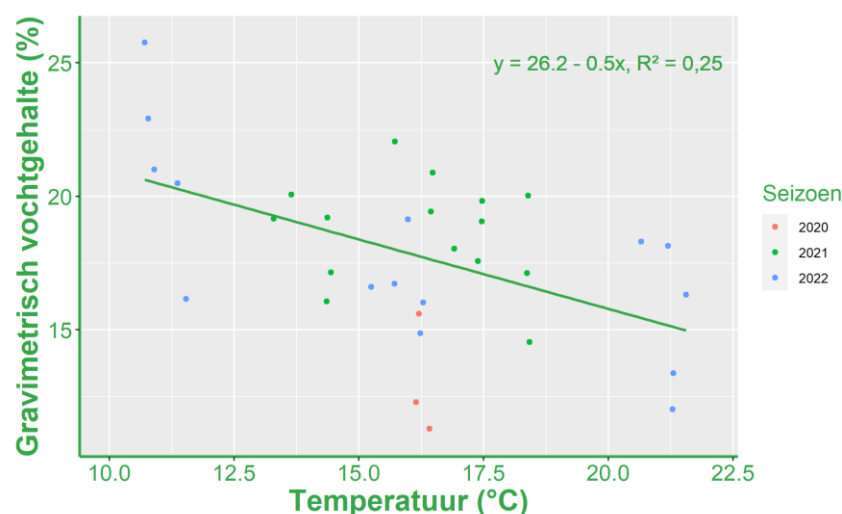
Uit de dronebeelden werden verschillende indices berekend, waaronder de VARI-index uit RGB-beelden, de NDVI- en NDRE-index uit multispectrale beelden, de gewastemperatuur uit thermale beelden en de boomhoogte uit 3D-puntenwolken. Deze werden vervolgens vergeleken met veldmetingen van o.a. het bodemvochtgehalte, de gewasgroei en de opbrengst. Zo werden de volgende toepassingen geselecteerd en verder uitgewerkt tot protocols en modellen voor remote sensing bij asperge, laanbomen, blauwe bes en peer:

- Asperge: Lekken in de druppelleidingen opsporen met thermale 2D-dronebeelden
- Asperge: Groei van het gewas bepalen uit 3D-puntenwolken en multispectrale 2D-dronebeelden als basis voor opbrengstvoorspelling
- Sierteelt: Inventarisatie van de kwaliteit
 - De kleur van het blad uit multispectrale 2D-dronebeelden
 - De vorm van de boom uit 3D-puntenwolken
- Blauwe bes: Tellen van de bloemen in beelden van de zijkant als basis voor opbrengstvoorspelling
- Peer: Wortelsnoei aansturen op basis van multispectrale 2D-dronebeelden of 3D-puntenwolken

Voor ziekte-/plaagdetectie werden geen protocols/modellen ontwikkeld wegens een gebrek aan velddata. Er was namelijk te weinig ziekte-/plaagdruk aanwezig in de opgevolgde proefpercelen.

2. Asperge: Lekken in de druppelleidingen opsporen met thermale 2D-dronebeelden

De meta-analyse van het aspergeperceel te Kinrooi (zie Bijlage 2) geeft aan dat er in 2022 een significant negatief verband was tussen het bodemvochtgehalte en de gewastemperatuur, berekend uit thermale dronebeelden. Wanneer de plant meer vocht uit de bodem kan opnemen kan hij namelijk meer vocht verdampen en zal hij minder snel opwarmen door hoge luchttemperaturen/zonnestraling. Wanneer we deze correlatie voor de drie jaren samen meer in detail bekijken, zien we nog steeds een significant negatieve correlatie, met weliswaar veel spreiding op de data (zie Figuur 1). Vermoedelijk zijn er nog andere parameters die deze relatie beïnvloeden, zoals tijdseffecten, het gewasvolume en bodemparameters.



Figuur 1. Lineair verband tussen de gewastemperatuur berekend uit thermale dronebeelden en het gravimetrisch bodemvochtgehalte bepaald door bodemstaalnames gedurende de verschillende groeiseizoenen voor het aspergeperceel te Kinrooi.

Hoewel de relatie tussen de gewastemperatuur berekend uit thermale dronebeelden en het bodemvochtgehalte nog verder onderzocht moet worden, biedt deze veel potentieel om drogere/nattere zones in het perceel te detecteren en af te bakenen, om irrigatiesystemen te dimensioneren/variabel aan te sturen of om het bestaande irrigatiesysteem te controleren en eventueel bij te sturen waar nodig.

Het aspergeperceel te Kinrooi wordt geïrrigeerd d.m.v. druppelirrigatie. Dit is een zeer efficiënte manier van irrigeren omdat het water zeer lokaal, onderaan de plant wordt toegediend. Het is echter belangrijk dat het systeem optimaal werkt. Een technisch defect aan een druppelslang kan namelijk betekenen dat bepaalde planten of zelfs hele plantenrijen geen of te weinig water krijgen. Om manueel lekken in druppelslangen op te sporen moet men elke gewasrij afzonderlijk nakijken. Op grotere percelen is dit onbegonnen werk. Ook hier biedt de inzet van een drone en de juiste camera's potentiële meerwaarde, om lekken op te sporen en groeiproblemen te voorkomen.

2.1 Methode van opsporen

Temperatuurkaart maken van een perceel

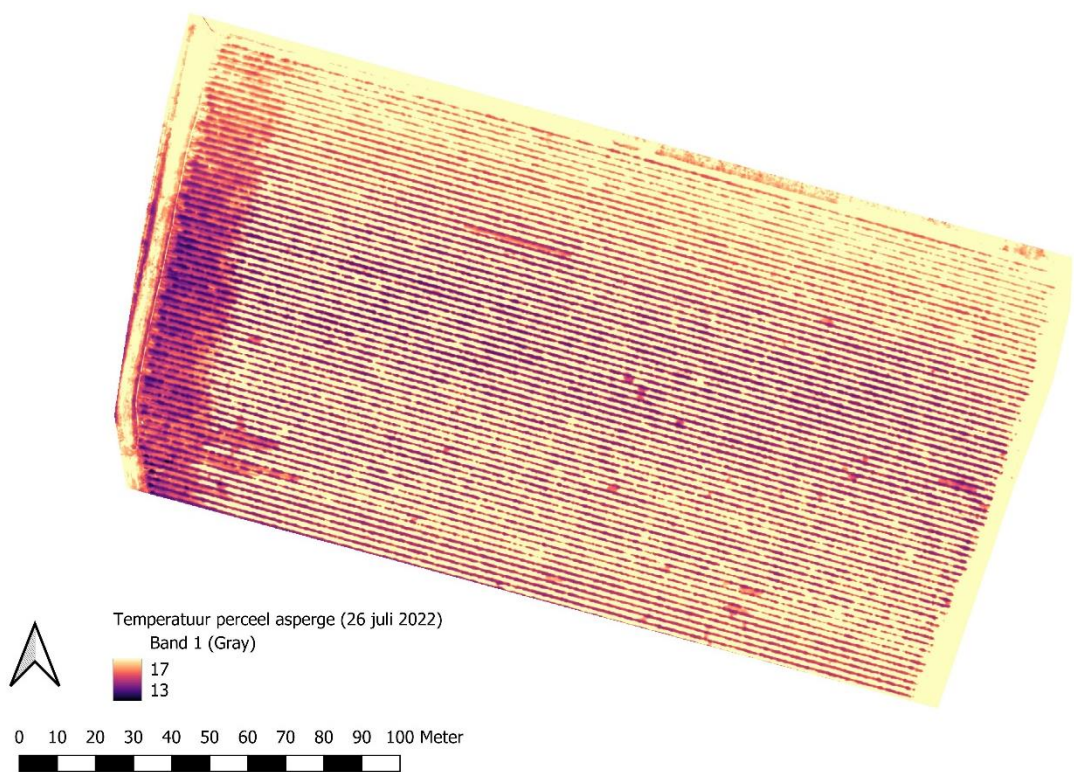
Met een drone en thermale camera kan een temperatuurkaart gemaakt worden van het perceel. De temperatuur die gemeten wordt is de stralingstemperatuur van het object dat de camera ziet, nl. de plant, maar evengoed het grondoppervlak. De temperatuurkaart van het aspergeperceel te Kinrooi (Figuur 2) toont aan dat het gewas kouder is dan het grondoppervlak. Het grondoppervlak aan de linkse zijde en nog bepaalde plaatsen in het perceel is echter ook duidelijk kouder dan in de rest van het perceel. Een droge grond warmt sneller op dan een vochtige grond. De koudere zones wijzen dus mogelijk op lekkages in de druppelslangen. Door enkel de koudere zones uit het thermale dronebeeld te behouden en te plotten over het RGB-beeld worden de probleemzones duidelijk onderscheiden (Figuur 3).

Opvallend zijn de vele lekkages aan de linkse zijde van het perceel, meer bepaald de aanvoerszijde van de druppelslangen. Tussen de aanvoerleiding en de druppelslangen zitten veel koppelingen die gevoelig zijn voor lekkages. Deze lekkages zijn ook eenvoudig door de teler manueel op te sporen en daar is geen drone voor nodig. De andere plaatsen verspreid over het perceel zijn veel moeilijker manueel op te sporen en daarvoor biedt de dronetoepassing wel een uitkomst. Uiteindelijk kunnen de resultaten voor de teler worden samengevat in een tabel met de gps-locatie en oppervlakte van elke lekkage (Tabel 2). De teler kan met deze lijst "kleine" lekkages eventueel negeren en met het gps-coördinaat gericht reparaties uitvoeren in het veld.

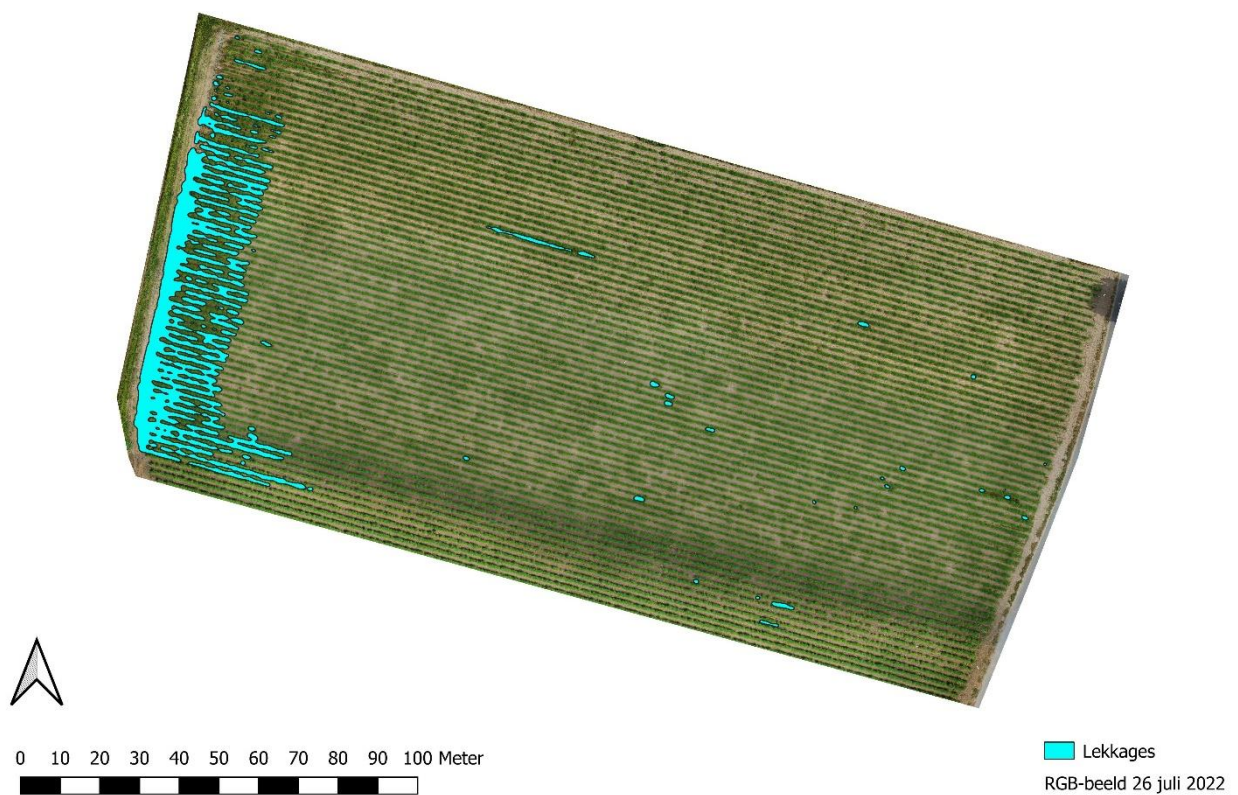
Moment van uitvoeren

Het beste moment om de controle van het irrigatiesysteem uit te voeren is op het moment dat de druppelslangen gelegd worden. Het gewas is dan nog zeer klein en als dan het irrigatiesysteem ingeschakeld wordt en er zouden lekkages zijn is dit eenvoudig op te sporen met een drone. Iets later in het seizoen is dit ook nog mogelijk, maar er moet zeker nog een groot grondoppervlak zichtbaar zijn. Naast het vroegtijdig opsporen zijn ook de weersomstandigheden belangrijk. De bodem moet de kans krijgen om op te warmen, onder zonnige omstandigheden.

Gezien de relatie tussen de gewastemperatuur berekend uit thermale dronebeelden en het gravimetrisch bodemvochtgehalte (zie Figuur 1) kunnen dronebeelden later in het seizoen wellicht ook nog gebruikt worden om lekken in de druppelleidingen op te sporen. Deze relatie moet echter nog verder onderzocht worden.



Figuur 2. Temperatuurkaart van het aspergeperceel te Kinrooi als resultaat van een dronevlucht met thermale camera op 26 juli 2022.



Figuur 3. RGB-dronebeeld van het aspergeperceel te Kinrooi op 26 juli 2022 met aanduiding van de gevonden lekkages in de druppelleidingen in het blauw.

Tabel 2. Overzichtstabel van de gevonden lekkages met de oppervlakte van de uitvloeijing en de x-y-coördinaten, gegeven in coördinatenstelsel "Belgian Lambert 72" (EPSG:31370).

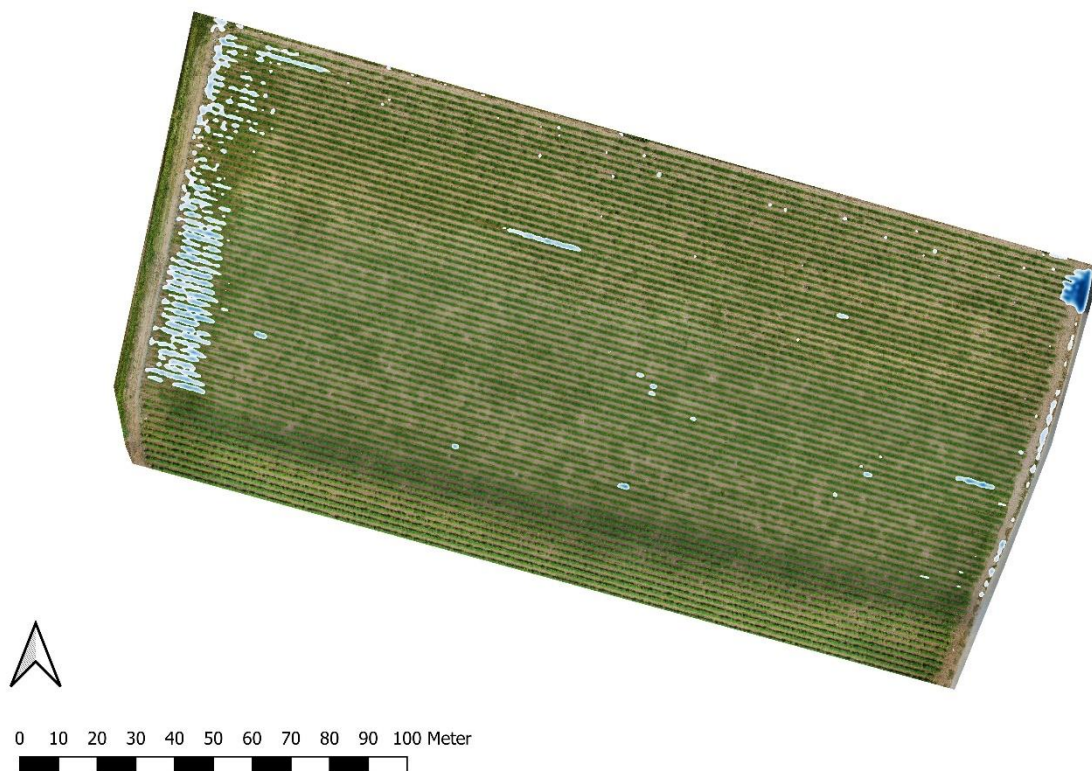
ID	m ²	X	Y	ID	m ²	X	Y
0	0,6	250769	204193	10	1,4	250766	204179
1	0	250770	204193	11	1,1	250763	204178
2	1,2	250774	204190	12	0,2	250770	204178
3	5,5	250772	204186	13	0	250764	204177
4	1,2	250764	204183	14	0,2	250766	204177
5	0	250768	204182	15	0,4	250776	204174
6	1,4	250763	204182	16	0,7	250763	204174
7	0,5	250766	204181	17	3,3	250767	204173
8	0,3	250763	204180	18	1	250779	204173

Alternatief voor thermale camera

Het gebruik van een thermale camera is relatief duur en niet elke drone of dronepiloot is hiermee uitgerust. Daarom werd ook bekeken of gewone RGB-beelden ook gebruikt kunnen worden voor deze toepassing (Figuur 4), op basis van het kleurverschil tussen droge en natte bodem. Dat was zeker het geval, maar de timing van de vlucht en de omgeving rond het perceel zijn nog belangrijker dan bij thermale beelden. Waar geen lekkages zijn moet het grondoppervlak zichtbaar opgedroogd zijn en er mogen geen obstakels in of rond het perceel zijn die schaduw werpen op het perceel. Een klein gewas dat weinig tot geen schaduw geeft is ideaal. Voor het gebruik van de RGB-camera moet de dronevlucht dus zeer vroeg in het seizoen gebeuren. Bij het gebruik van een thermale camera kan het tijdstip van de vlucht echter iets verlaat worden en kan mogelijk naast lekkages ook de groei van het gewas in kaart gebracht worden.

2.1 Besluit

Door een drone in te zetten is het mogelijk om het bodemvochtgehalte in kaart te brengen en lekkages van het druppelirrigatiesysteem op te sporen. Voor grotere percelen zal dit een aanzienlijke economische besparing opleveren t.o.v. de arbeidsuren die vereist zijn voor manuele controle van het volledige perceel. Wanneer de lekkages hersteld worden zal dit het waterverbruik sterk reduceren. Bijkomend worden groeiproblemen in tijden van extreme droogte voorkomen door de lekkages gericht aan te pakken.



Figuur 4. Aanduiding van de lekkages in de druppelleiding op basis van het RGB-dronebeeld van 22 juli 2022 van het aspergeperceel te Kinrooi. In de hoek van het perceel wordt een zone foutief als lekkage aangeduid, dit is de schaduw van een boom die naast het perceel stond.

3. Asperge: Groei van het gewas bepalen uit 3D-puntenwolken en multispectrale 2D-dronebeelden als basis voor opbrengstvoorspelling

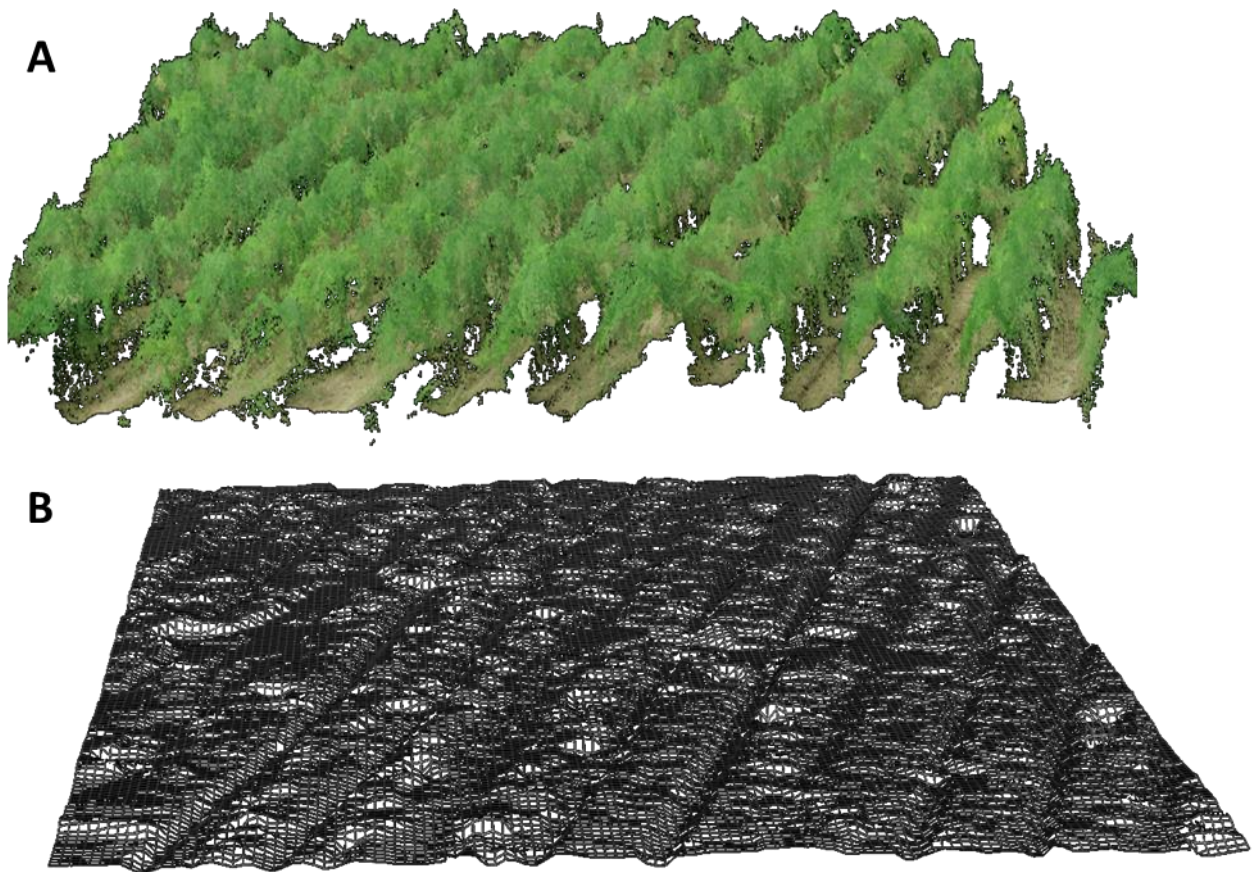
In de volle grond worden asperges geoogst in de periode half maart tot eind juni. Dit is een drukke periode voor de telers, waarbij de focus vooral ligt op productie en minder op plantgezondheid. Later in het jaar, wanneer het groene aspergegewas zichtbaar is, is het van belang de plant zo gezond mogelijk te houden. Immers kan een gezonde, sterke plant meer nutriënten en suikers aan de wortels leveren, wat bevorderlijk is voor de oogst in het volgende jaar. De vraag is nu of de gezondheid/groei van de aspergeplant bepaald kan worden uit dronebeelden, en of deze gegevens gelinkt kunnen worden aan de opbrengst in het volgende jaar. Als de dronebeelden verwerkt kunnen worden tot gezondheids/opbrengstkaarten van het perceel kunnen bovendien probleemzones onderscheiden worden en kan hierop ingegrepen worden met doelgerichte maatregelen.

3.1 Methodiek

Op de aspergepercelen te Kinrooi, Venlo en Grubbenvorst werden gelijktijdig met de dronevluchten verschillende veldmetingen uitgevoerd om de gezondheid en groei van het gewas te beoordelen. Zo werd voor verschillende experimentele plots de gemiddelde planthoogte en stengeldikte gemeten, alsook het aantal stengels per lopende meter. De kleur en omvang van het gewas werden beoordeeld

door middel van een cijferschaal. Hierbij staat 1 voor een klein en licht/bruin gewas, en een hoge score voor een groot en donkergroen gewas.

Voor het beoordelen van de groei van het gewas werden ten eerste de mogelijkheden van een 3D-puntenwolk, gegenereerd uit RGB-dronebeelden, onderzocht (Figuur 5A). Eerst werd een digitaal terreinmodel (DTM) opgesteld (Figuur 5B) door met een bestaand algoritme te bepalen welke punten deel uitmaakten van de bodem. De delen van de bodem die niet zichtbaar waren in de puntenwolk werden gemodelleerd. Door het verschil te nemen tussen de 3D-puntenwolk en het DTM werd per plot de gemiddelde planthoogte berekend. Uit de meta-analyse van alle data van dit perceel (Bijlage 2) blijkt dat er in 2021 een significant positieve correlatie was tussen deze berekende planthoogte en het aantal stengels per lopende meter, de gemiddelde stengeldikte en de NDRE en een negatieve correlatie met de gewastemperatuur. In 2022 was er enkel een significant positieve relatie met het aantal stengels. In beide seizoenen was er echter geen significante relatie met de planthoogte gemeten in het veld. De 3D-puntenwolk lijkt dus meer geschikt om de densiteit van het gewas te schatten, in plaats van de lokale maximale planthoogte.

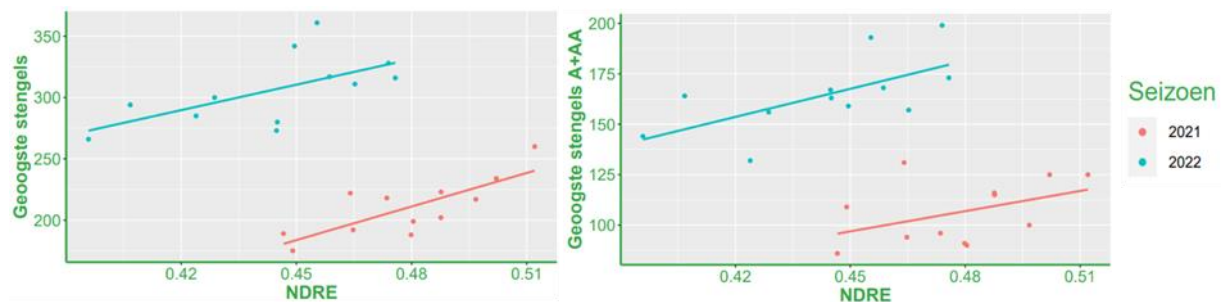


Figuur 5. A. 3D-puntenwolk voor het aspergeperceel te Kinrooi op 21 augustus 2020, gegenereerd uit RGB-dronebeelden. B. Het digitale terreinmodel (DTM) bepaald a.d.h.v. de 3D-puntenwolk.

Niet enkel 3D-puntenwolken, maar ook gewasindices zoals de NDVI en NDRE berekend uit multispectrale dronebeelden en de VARI berekend uit RGB-beelden kunnen mogelijks in verband worden gebracht met de groei van het gewas. Uit de meta-analyse van alle data blijken er inderdaad verbanden te zijn tussen deze gewasindices, de kleur van het gewas en het aantal stengels (Bijlage 2). Wanneer we deze relaties in detail bekijken (Bijlage 3) zien we duidelijk positieve trends waarbij een

hogere NDVI of NDRE overeenkomt met een grotere gemiddelde stengeldikte en een hoger aantal stengels per meter. Door de grote variatie binnen de datasets zijn deze relaties echter enkel significant voor de NDVI en NDRE t.o.v. het aantal stengels per meter. Ook voor het aspergeperceel te Grubbenvorst was er een significant positieve correlatie tussen zowel de NDRE als de NDVI en de omvang van het gewas (Bijlage 3). De resultaten voor de NDRE zijn het meest consistent doorheen de tijd. Voor de NDVI/NDRE vs. de planthoogte gemeten in het veld en voor de VARI-index zijn er geen significante correlaties of consistente trends in de data.

Voor de NDRE biedt dus potentieel om, net als de 3D-puntenwolken, de densiteit van het gewas te schatten als basis voor een voorspelling van de opbrengst in het volgende seizoen. Voor het aspergeperceel te Kinrooi zijn er echter geen opbrengstgegevens beschikbaar. Dit is wel het geval voor het aspergeperceel te Venlo. Hier zien we een sterke positieve correlatie tussen de NDRE in het voorgaande jaar en het aantal geoogste aspergestengels, zowel in 2021 als 2022 (Spearman-correlatie van resp. 0,78 en 0,61, zie Figuur 6). Niet enkel het totaal aantal asperges kan geschat worden, maar ook het aantal asperges in kwaliteitsklassen A+AA, die economisch het meest interessant zijn (Spearman-correlatie van resp. 0,43 en 0,64 in respectievelijk 2021 en 2022). De opbrengst was algemeen hoger in 2022 omdat er toen twee weken langer geoogt werd.



Figuur 6. Relatie tussen de NDRE in het voorgaande jaar en het totaal aantal asperges (links) en het aantal asperges in kwaliteitsklassen A+AA (rechts) geoogst per plot in 2021 en 2022 voor het aspergeperceel te Venlo (n=12).

3.2 Besluit

De resultaten van de aspergepercelen te Kinrooi en Venlo tonen duidelijke verbanden tussen 3D-puntenwolken en/of multispectrale 2D-dronebeelden en de groei van het gewas. Dit biedt het potentieel om op basis van dronegegevens de opbrengst voor het volgende jaar te voorspellen en probleemzones gericht te behandelen. Momenteel zijn er echter te weinig gegevens beschikbaar om deze relatie verder te onderzoeken en een model voor opbrengstvoorspelling te ontwikkelen. Hiervoor is verder onderzoek vereist op meerdere aspergepercelen en over verschillende groeiseizoenen heen. Bovendien moeten de data per tijdstip doorheen het seizoen meer in detail geanalyseerd worden om te achterhalen op welke tijdstippen de dronevluchten best worden uitgevoerd.

4. Sierteelt: Inventarisatie van de kwaliteit

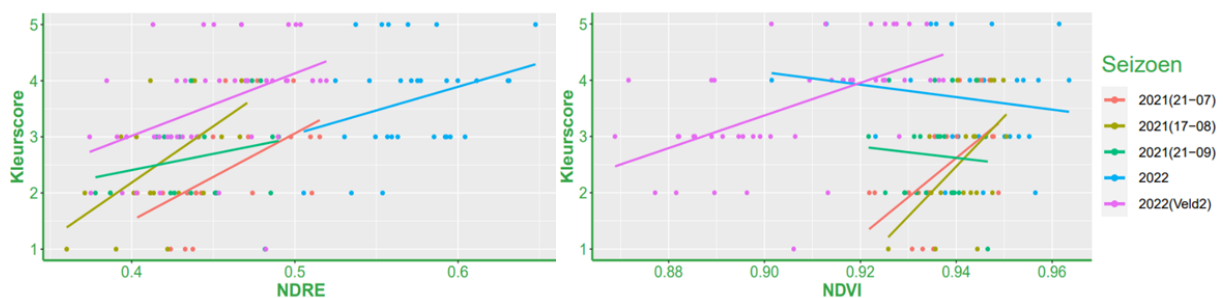
De teelt van sierplanten en laanbomen kenmerkt zich door een groot aantal variëteiten per oppervlak. Op één hectare kunnen wel honderd verschillende soorten boomkwekerijgewassen staan. Het is daarom een hele klus om deze te verzorgen en bij te houden. Ook aan het tellen en meten van de planten gaat veel tijd verloren. Het tellen van planten in dronebeelden wordt reeds als commerciële service aangeboden. Hierdoor kan de teler reeds veel tijd besparen. Wanneer we deze telling kunnen uitbreiden met de meting van bepaalde kwaliteitskenmerken, krijgt de teler een compleet overzicht

van zijn plantenareaal en de verkoopwaarde. Daarom onderzochten we of dronebeelden gebruikt kunnen worden om bepaalde kwaliteitskenmerken te beoordelen.

4.1 De kleur van het blad uit multispectrale 2D-dronebeelden

Een eerste belangrijk kwaliteitskenmerk in de sierteelt is de kleur van de plant, omdat de waarde van een plant vooral bepaald wordt door zijn visuele aantrekkelijkheid. Een donkergroene, gezonde plant geeft hierbij meer waarde dan een lichtere plant. Mogelijk bestaat er een verband tussen de kleur van de plant en de NDRE of NDVI berekend uit multispectrale 2D-dronebeelden.

Binnen de sierteelt behoren de laurierkers soort (*Prunus Lauroceracus spp.*, hierna te noemen 'Prunus') tot de meest geteelde planten. Deze soort blijft groen in de winter en groeit snel. Dit maakt de plant ideaal voor heggen of afscheidingen. Verder is deze plantensoort ideaal voor onderzoek, aangezien er snel kleurverschil optreedt wanneer de plant stress ervaart. In 2021 en 2022 werden dronevluchten uitgevoerd op 2 verschillende Prunuspercelen (Venlo en Grubbenvorst). Tegelijkertijd werd in het veld de planthoogte gemeten en de kleur beoordeeld. Voor beide percelen werden significant positieve correlaties gevonden tussen de kleur van de plant en zowel de NDRE als de NDVI (Figuur 7), met Spearman correlatiecoëfficiënten tussen 0,47 en 0,62. Enkel voor de dronevluchten van 21/09/2021 (groene lijn) en 24/08/2022 (blauwe lijn) te Venlo waren er geen significante correlaties. De resultaten zijn het meest consistent voor de NDRE. Deze index vormt dus een goede indicator voor de kleur van de plant. Voor de NDRE/NDVI vs. de planthoogte werden geen goede correlaties bekomen (zie Bijlage 4).



Figuur 7. Verband tussen de NDRE (links) en de NDVI (rechts) per plant en de kleurscore voor het prunusperceel te Venlo op 21/07/2021 (rood), 17/08/2021 (bruin), 21/09/2021 (groen) en 24/08/2022 (blauw) en het prunusperceel te Grubbenvorst 'Veld 2' op 29/09/2022 (paars).

4.2 De vorm van de boom uit 3D-puntenwolken

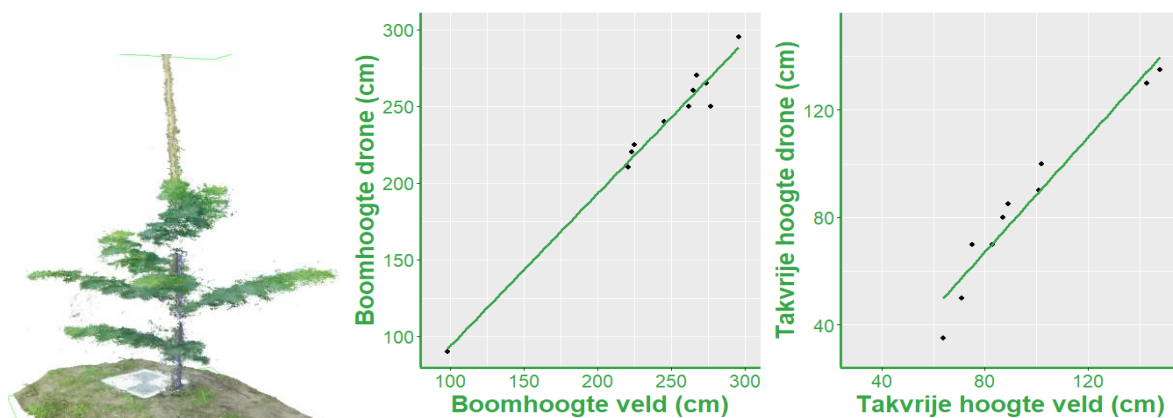
Laanbomen die worden verkocht aan particulieren en overheden moeten voldoen aan verschillende kwaliteitskenmerken. Zoals eerder vermeld, is er op boomkwekerijen een grote verscheidenheid van variëteiten en plantstadia aanwezig. Een automatische bepaling van plantkenmerken zoals boomhoogte, takvrije hoogte en stamdiameter zou processen binnen de boomkwekerijen en vele handmatige controles kunnen optimaliseren.

Om boomkenmerken te bepalen werden 3D-puntenwolken van verschillende bomen gecreëerd. Hierbij werd zowel gebruik gemaakt van fotogrammetrische methoden die standaard worden gebruikt bij RGB-dronebeelden, alsook tests met een LiDAR scanner op een drone. Uit deze tests bleek dat de standaard vlieghoogte (35 m, 1 cm GSD, overlap 85/80) die dronepiloten hanteren bij het uitvoeren van RGB vluchten, ondermaats is voor de vereiste dichtheid van punten voor een goed 3D-model van de boom. Echter, bij een lagere vlucht op slechts 10 meter en een overlap van 80/80 was de kwaliteit van de puntenwolk voldoende groot om de benodigde analyses uit te voeren. De kwaliteit en dichtheid

van de puntenwolken verkregen uit LiDAR vluchten was van een nog hoger niveau. De veel hogere financiële kost van deze LiDAR vluchten zorgt er echter voor dat een betere prijs-kwaliteit verhouding kan worden verkregen uit standaard RGB vluchten.

Het belangrijkste kwaliteitskenmerk in de boomkwekerij is de stamdiameter. Om de stabiliteit van de jonge bomen in de boomkwekerij te verhogen, worden begeleidende bamboestokken bij elke boom geplaatst. De aanwezigheid van deze stokken bemoeilijkt echter de bepaling van de stamdiameter. Om de stok uit de beelden te filteren, werden testen uitgevoerd waarbij de bamboestok paars geverfd werd. Hoewel de stok daardoor duidelijk in het beeld te zien is, was de foutenmarge bij het uitfilteren van deze punten te groot. Hierdoor werden ook de, op deze leeftijd dunne stammen mee uitgefilterd en kon de stamdiameter niet bepaald worden. Bovendien beschouwen we het niet realistisch voor boomkwekers om alle bamboestokken te verven. Er werd dus geen methode ontdekt om accuraat de stamdiameter te bepalen.

Twee andere kwaliteitskenmerken zijn de boomhoogte en de takvrije hoogte. Deze konden wel met succes worden berekend uit de 3D-puntenwolken en tonen zeer goede correlaties met de waarden gemeten in het veld (met correlatiecoëfficiënten van resp. 0,945 en 0,967, Figuur 8).



Figuur 8. 3D-puntenwolk van een individuele boom (links) en relatie tussen de boomhoogte en takvrije hoogte gemeten in het veld en berekend uit de 3D-puntenwolk (rechts).

4.3 Besluit

Eenzijds blijkt de NDRE-waarde berekend uit multispectrale dronebeelden een goede indicator te zijn voor de kleur en daarmee de kwaliteit van Prunusplanten. Dit is waarschijnlijk ook voor andere soorten het geval. Anderzijds kunnen 3D-RGB-puntenwolken gebruikt worden om op een accurate manier de structuur van individuele planten in kaart te brengen. Hierbij is het van belang dat de drone laag genoeg over de bomen vliegt en er voldoende overlap is tussen de genomen foto's. Uit de 3D-puntenwolken kunnen we vervolgens kenmerken extraheren. Dit demonstreerden we bij laanbomen voor de boomhoogte en takvrije hoogte. De aanwezigheid van begeleidende bamboestokken is hierbij geen bezwaar. Samen met de kleine diameter van jonge laanbomen verhinderen de bamboestokken echter wel een correcte bepaling van de stamdiameter. Hiervoor is het nodig om met camera's/sensoren te werken die van kortbij de stam in beeld brengen (bv. op een tractor) en onderscheid kunnen maken tussen stam en bamboestok.

Dit biedt de mogelijkheid om op basis van dronebeelden indexkaarten van het perceel te maken, met indeling in kwaliteitsklassen per plant, alsook een inventaris in tabelvorm die een volledig overzicht geeft van het aantal planten per kwaliteitsklasse. Voor grote percelen of percelen die ver van huis liggen betekent dit een grote tijdsbesparing.

5. Blauwe bes: Tellen van de bloemen in beelden van de zijkant als basis voor opbrengstvoorspelling

Opbrengstvoorspelling kan een heel waardevolle tool zijn voor zowel teler, fruitveiling als consument. Een teler kan op basis van dit soort voorspelling het plukpersoneel efficiënter inzetten en kan bovendien in een meerjarige teelt zoals bij blauwe bes, probleemzones in zijn percelen in kaart brengen. Kleine problemen met irrigatie, ziektes en andere teeltmaatregelen kunnen individueel namelijk onopgemerkt blijven of als onbelangrijk worden beschouwd. Een accumulatie van deze problemen kan echter zorgen voor lagere opbrengsten. Gezien het belang van goede en kwalitatieve opbrengsten, kan een voorspellingsmodel het cumulatieve effect van alle teeltmaatregelen in kaart brengen. Uit voorgaande studies bleek dat het tellen van het aantal bloemen een goede basis is voor een opbrengstvoorspellingsmodel. Dit werd reeds aangetoond door pcfruit voor zowel de aardbeien- als de perenteelt.

5.1 Methodiek

In eerste fase werd getracht om de bloemen in kaart te brengen met behulp van 3D dronebeelden. Hierbij werd getracht pixels met witte kleur uit de 3D puntenwolk te extraheren als een schatter voor het aantal bloemen. Hieruit bleek echter dat de drone de gehele plant onvoldoende in beeld kreeg en dat de maximaal haalbare resolutie van de dronebeelden te laag was om de kleine bloemen te kunnen onderscheiden van de plant. Daarom werd geopteerd om een camera-opstelling te creëren die kan worden gemonteerd op een tractor. Zo kan de teler beelden maken van de zijkant van de plant, met hoge resolutie, en dit tijdens de gangbare werkzaamheden in de plantage.

Blue Engineering ging aan de slag om deze opstelling te creëren en moest hierbij rekening houden met een aantal criteria:

- 1) De gehele plant moet in beeld komen.
- 2) Takken van de planten hangen in de rijlijnen, waardoor de opstelling stevig beschermd moet zijn om niet steeds beschadigd te worden.
- 3) De tractor rijdt over oneven terrein, waardoor een goede stabilisatie van de camera nodig is om consistente beelden te verkrijgen.
- 4) Lichtcondities wijzigen afhankelijk van de weersomstandigheden en de rijrichting van de tractor.
- 5) De locatie van de camera moet op elk moment gekend zijn om de beelden te kunnen linken aan de juiste locatie in het veld.
- 6) De teler moet de opstelling op een eenvoudige manier kunnen bedienen en eenvoudig de beelden van de camera kunnen uitlezen.

Het resultaat was een prototype cameraopstelling (Figuur 9) op een Gimbal-stabilisatieplatform met extra vering om schokken die ontstaan door het terrein op te vangen. Ter bescherming werd de camera in een kooi geplaatst, afgesloten met een plexiglazen deur. Nadat de opstelling, die is verbonden is met de batterij van de tractor, is opgestart, kan de camera kan worden gestart en gestopt met behulp van eender welke smartphone, tablet of laptop. Hiervoor dient het toestel contact te maken via de ingebouwde wifi-transmitter van de cameraopstelling. Bovendien kan de bestuurder in de applicatie

live de beelden zien die worden gemaakt door de camera, wat het mogelijk maakt om snel in te grijpen bij problemen.

Bij tests met de opstelling in 2021 bleek dat voornamelijk de lichtinval een probleem was om kwalitatieve beelden te verkrijgen. Bovendien zorgden takken voor beschadigingen op de plexiglasen deur van de opstelling, waardoor de zuiverheid van de beelden nog verder daalde. Daarom werden tegen het seizoen 2022 aanpassingen doorgevoerd zoals het zwart schilderen van de binnenkant van de kist, het toevoegen van een extra lichtfilter en vervanging van de plexiglasen deur.



Figuur 9. (Links) Foto van de eerste operationele testopstelling in 2021 gemonteerd op tractor. (Rechts) Aanpassingen aan de opstelling in 2022 om de beeldkwaliteit te verbeteren (o.a. zwarte box en extra lichtfilter).

De output van elke rit is een map met daarin 3 bestanden: een video gemaakt door de camera, een gps-file en een spreadsheet die van elk frame in de video het exacte tijdstip weergeeft. Deze spreadsheet maakt het mogelijk om de video en gps bestanden te combineren. Vervolgens kunnen uit de video's frames worden geëxtraheerd. Figuur 10 toont een voorbeeld van de spatiale spreiding van deze foto's in het perceel waar ze genomen zijn. Een aantal voorbeelden van finale frames worden weergegeven in Bijlage 5. Om in de finale beelden bloemen te detecteren, werd het AI-bedrijf Brainjar gecontracteerd. Zij waren in staat om met een beperkte trainingsdataset reeds goede resultaten te bereiken. De precisie van het AI model was reeds 90% (het percentage voorspelde bloemen dat effectief een bloem is), terwijl de "recall" momenteel 55% is (het percentage effectieve bloemen dat wordt gedetecteerd door het model). Dit model heeft echter nog veel potentieel voor verbetering. Zo was het aantal kalibratiebeelden (omwille van budgettaire redenen) op dit moment beperkt. Daarnaast bleek dat het model op dit moment nog geen onderscheid kan maken tussen bloemen in de voorgrond en achtergrond van het beeld. Daardoor kunnen ook bloemen op planten in achterliggende rijen worden gedetecteerd, wat zorgt voor een overschatting voor de plant die moet worden geteld. Om deze cameraopstelling en het bijhorende AI model in de praktijk te kunnen gebruiken, dienen dus nog verdere optimalisaties te gebeuren.



Figuur 10. Voorbeeld van frames op exacte locatie. Elke rode stip stelt een foto voor die verder kan worden geanalyseerd om het aantal bloemen te tellen.

5.2 Besluit

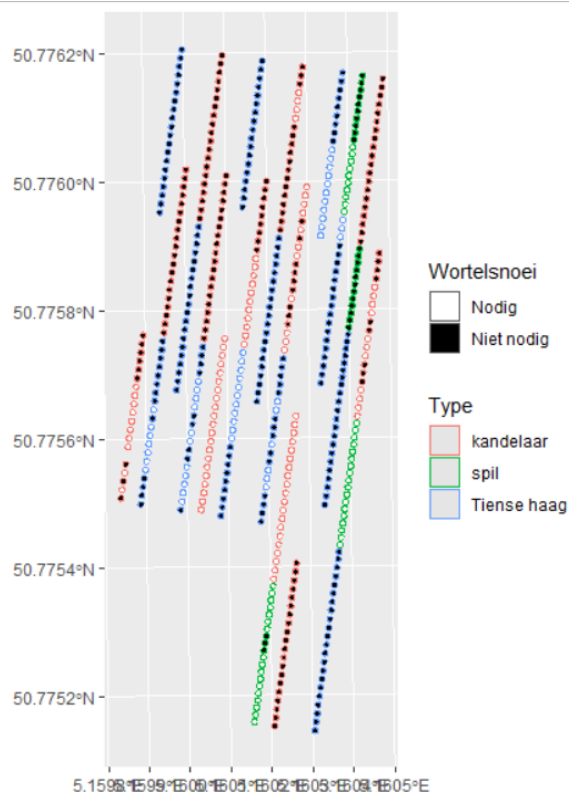
Blue Engineering ontwikkelde een cameraopstelling die op een tractor kan worden bevestigd en kan worden bediend vanop een smartphone. Deze camera filmt de planten aan de linkerkant van de tractor terwijl deze tussen de rijen rijdt. Uitdagingen bij het maken van deze opnames waren de sterk wijzigende lichtomstandigheden, zowel tussen ritten als tijdens eenzelfde rit wanneer de rijrichting wijzigde. Hiervoor werden verschillende camera's en filters getest om tot een werkbaar resultaat te komen. De beelden werden vervolgens gebruikt als input om een AI model te ontwikkelen dat bloemen kan detecteren en tellen. Het resulterende model is veelbelovend om mits enkele optimalisaties aan zowel de cameraopstelling als het model zelf nauwkeurig het aantal bloemen per plant te kunnen tellen. Vervolgens kunnen de tellingen dienen als basis voor een opbrengstvoorspellingsmodel.

6. Peer: Wortelsnoei aansturen op basis van multispectrale 2D-dronebeelden of 3D-puntenwolken

Ook bij peren bieden dronebeelden potentieel om de teelt te optimaliseren, o.a. bij het uitvoeren van variabele wortelsnoei om de groei te temperen bij te sterk groeiende bomen. Gewoonlijk wordt daarbij de groei van de boom "on the spot" beoordeeld door de teler of een expert ter zake, een intensieve en tijdrovende activiteit. Als de variabele wortelsnoei geautomatiseerd kan worden d.m.v. een taakkaart en tractor met GPS-sturing, kan deze door eender wie worden uitgevoerd, de tractor doet het werk! Om de taakkaart aan te maken moet dus van elke boom geweten zijn of deze al dan niet gewortelsnoeid moet worden. Daarvoor kunnen we ons mogelijks baseren op 3D-puntenwolken of multispectrale 2D-dronebeelden.

6.1 Methodiek

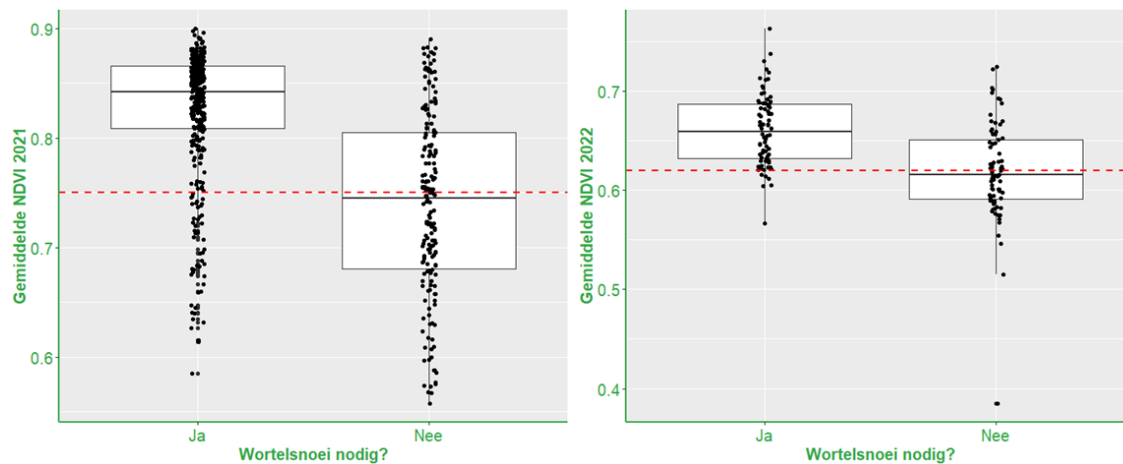
In februari 2022 werd voor alle 552 jonge 'Conference' bomen op het perenperceel te Sint-Truiden beoordeeld of ze al dan niet nood hadden aan wortelsnoei. Naast de variabiliteit in wortelsnoei, zijn in dit perceel ook drie verschillende snoeivormen aanwezig (kandelaar, spil en Tiense haag). Van de 552 bomen werden er uiteindelijk 370 geselecteerd voor wortelsnoei, bij de 182 resterende bomen was geen wortelsnoei nodig (Figuur 11).



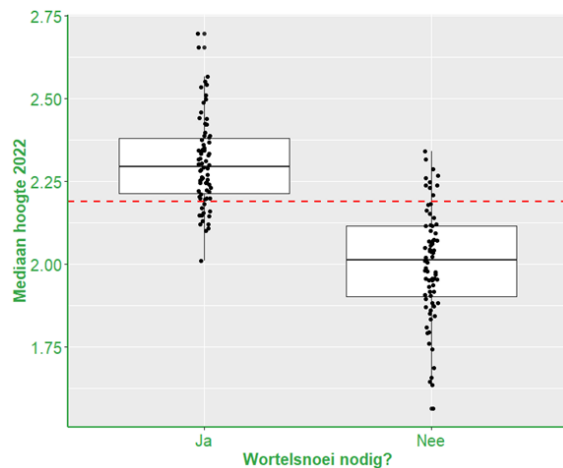
Figuur 11. Manuele beoordeling van wortelsnoei bij 552 perenbomen in verschillende snoeivormen op het perceel in Sint-Truiden.

Begin juni en begin augustus 2021 werden over deze bomen dronevluchten uitgevoerd met zowel RGB- als multispectrale camera's waaruit o.a. de NDVI per boom berekend werd. Deze dronegegevens werden gelinkt aan de veldgegevens met behulp van een decision tree model. Hieruit bleek dat de NDVI begin augustus (bij het einde van de scheutgroei) de beste indicator was voor de noodzaak tot wortelsnoei. Met behulp van de RGB-beelden werden ook 3D-puntenwolken opgesteld waaruit de boomhoogte werd afgeleid analoog aan de procedure bij asperge (zie paragraaf 3.1). Ook de boomhoogte had potentieel als indicator voor wortelsnoei, maar door problemen met de verwerking van de dronebeelden waren deze hoogtes niet betrouwbaar genoeg om verdere analyses uit te voeren. Wanneer uitsluitend de NDVI werd gebruikt, had het model een accuraatheid van 81% (Figuur 12 links).

Om deze resultaten verder te valideren, werd op 22/07/2022 (einde scheutgroei) op een bijkomend perenperceel in Tongeren een dronevlucht uitgevoerd en dezelfde parameters (NDVI, NDRE en boomhoogte) bepaald. Opnieuw werden deze gelinkt aan veldgegevens van 150 bomen gemeten in december 2022 (scheutgroei en noodzaak voor wortelsnoei). Hiervan hadden 74 bomen wortelsnoei nodig, voor 76 bomen was geen wortelsnoei vereist. Opnieuw bleek uit deze resultaten dat de NDVI een goede indicator kan zijn voor wortelsnoei met een accuraatheid van 73% (Figuur 12 rechts). Verder bleek dat de boomhoogte inderdaad een goede indicator is voor wortelsnoei. Wanneer hierbij een grenswaarde van 2,19 meter werd gehanteerd, was de accuraatheid van het model 86% (Figuur 13). Om de ideale grenswaarde voor de NDVI of de boomhoogte te bepalen is een kalibratie o.b.v. veldgegevens echter noodzakelijk. Deze zal namelijk variëren van perceel tot perceel en van jaar tot jaar.



Figuur 12. Spreiding van de NDVI-waarden per boom wanneer al dan niet gewortelsnoeid moet worden en bepaling van de ideale NDVI-grenswaarde voor wortelsnoei (rode lijn) op de perenpercelen te Sint-Truiden (2021, links) en Tongeren (2022, rechts).



Figuur 13. Spreiding van de boomhoogte berekend uit de 3D-puntenwolk wanneer al dan niet gewortelsnoeid moet worden en bepaling van de ideale boomhoogte-grenswaarde voor wortelsnoei (rode lijn) op het perenperceel te Sint-Truiden in 2022.

6.2 Besluit

Uit de resultaten blijkt dat met behulp van 2D-multispectrale dronebeelden en de planthoogte (bepaald uit 3D-puntenwolken of het DSM) een goed onderscheid kan worden gemaakt tussen bomen die al dan niet wortelsnoei nodig hebben. De grenswaarde die het beslissingsmodel gebruikt om het onderscheid tussen de twee klassen te maken blijkt wel sterk afhankelijk te zijn van het moment waarop de vlucht is uitgevoerd en de staat van de bomen. Er moet dus steeds een kalibratie gebeuren o.b.v. een kleine steekproef van bomen die in het veld beoordeeld worden om deze resultaten op een betrouwbare manier op te schalen naar volledige percelen.

7. Conclusies

In dit project toonden we aan dat remote sensing met camera's op drones en tractoren op verschillende manieren potentiële meerwaarde biedt voor de teelten asperge, blauwe bes, peer en voor sierteelt in volle grond (Prunus en laanbomen).

Ten eerste kunnen thermale dronebeelden gebruikt worden om drogere/nattere zones in het perceel te detecteren en af te bakenen, om irrigatiesystemen te dimensioneren/variabel aan te sturen of om het bestaande irrigatiesysteem te controleren. Zo demonstreerden we voor het aspergeperceel te Kinrooi ook de mogelijkheid om lekkages van het druppelirrigatiesysteem op te sporen met behulp van thermale dronebeelden gemaakt in het begin van het seizoen. Door waterverliezen te vermijden biedt deze toepassing een grote meerwaarde voor de aspergeteelt zowel op economisch als ecologisch vlak.

Voor hetzelfde aspergeperceel was er ook een verband tussen de planthoogte berekend uit 3D-puntenwolken en de NDVI/NDRE uit multispectrale 2D-dronebeelden enerzijds en de groei van het gewas anderzijds. Bovendien verwachten we voor de sterkst groeiende planten in het volgende seizoen de hoogste opbrengst. Dronebeelden bieden dus het potentieel om de opbrengst voor het volgende jaar te voorspellen en probleemzones gericht te behandelen. Dit werd bevestigd door een sterke positieve correlatie tussen de NDRE in het voorgaande jaar en de opbrengst voor het aspergeperceel te Venlo. Momenteel zijn er echter te weinig gegevens beschikbaar om deze relatie verder uit te diepen en een model voor opbrengstvoorspelling te ontwikkelen. Hiervoor is verder onderzoek vereist op meerdere aspergepercelen en over verschillende groeiseizoenen heen.

Voor de sierteelt demonstreerden we het bepalen van kwaliteitskenmerken m.b.v. dronebeelden, nl. de kleur van het gewas o.b.v. de NDRE uit multispectrale 3D-dronebeelden en de boomstructuur (boomhoogte en takvrije hoogte) o.b.v. 3D-RGB-puntenwolken. Voor het meten van de stamdiameter werd echter nog geen dronegebaseerde oplossing gevonden. Het bepalen van kwaliteitskenmerken met drones biedt de mogelijkheid om indexkaarten van het perceel te maken, met een indeling in kwaliteitsklassen per plant, alsook een inventaris in tabelvorm die een volledig overzicht geeft van het aantal planten per kwaliteitsklasse. Voor grote percelen betekent dit een grote tijdsbesparing en dus economische meerwaarde.

Net als bij asperges kunnen ook in de perenteelt 3D-puntenwolken en multispectrale 2D-dronebeelden gebruikt worden om de groei van de bomen te beoordelen. De resulterende indexkaarten kunnen vervolgens worden omgezet tot taakkaarten om variabele wortelsnoei automatisch aan te sturen. Zo kan de wortelsnoei sneller verlopen en moet deze niet meer door een expert ter zake worden uitgevoerd. Op deze manier bieden dronebeelden een economische meerwaarde voor de perenteelt.

Tot slot ontwikkelden we een cameraopstelling die op een tractor kan worden bevestigd en de planten aan de linkerkant van de tractor filmt terwijl deze tussen de rijen door rijdt. Zo maakten we beelden van blauwe bessenstruiken tijdens de bloei en demonstreerden we de mogelijkheid om d.m.v. een AI-model de bloemen in de beelden te tellen. Hoewel er nog verbeteringen moeten gebeuren aan zowel de cameraopstelling als het AI-model zijn de huidige resultaten reeds zeer veelbelovend voor een nauwkeurige bloemtelling als basis voor een opbrengstvoorspellingsmodel bij blauwe bes.

8. Dankwoord

Het project Smart Growers werd gefinancierd binnen Interreg V Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling, VLAIO en de provincies Limburg, Antwerpen en Oost-Vlaanderen. De proeven op de demonstratiepercelen werden uitgevoerd in samenwerking met Landbouwbedrijf Henckens, Teboza Productions BV, ADM Greentraders bvba, Blauwe bessen Schrijnwerkers bvba, Hortus Blueberry VOF, Malcorps Peter en Kerstboomkwekerij Leon Coenders. Voor het uitvoeren en verwerken van de dronevluchten werd samengewerkt met Didex (Landron bvba) en VITO Remote Sensing. Bodemscans werden uitgevoerd door Soilmasters. Het AI-model voor het tellen van de bloemen bij blauwe bes werd ontwikkeld door Brainjar.

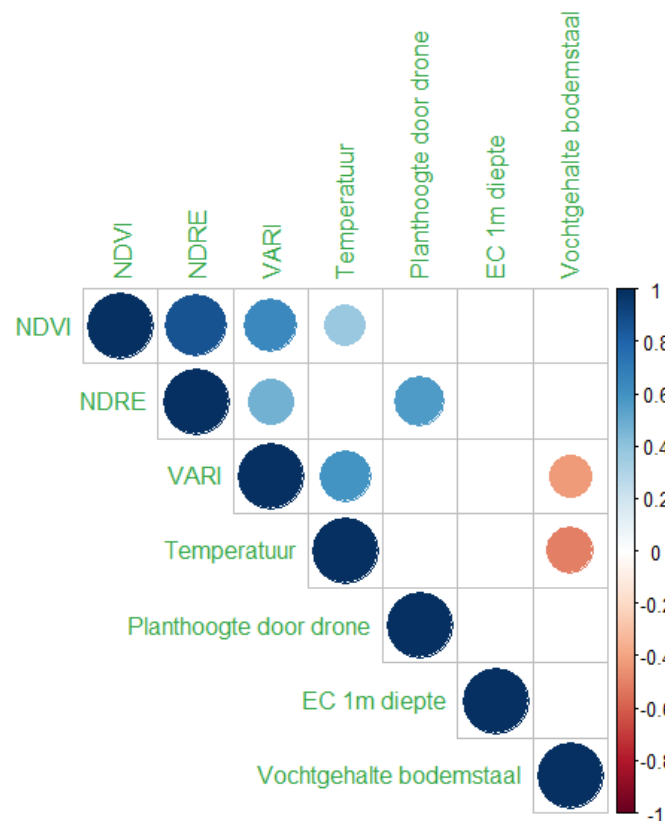
Bijlage 1. Overzicht van de uitgevoerde dronevluchten per demonstratieperceel

Tabel B. 1. Overzicht dronevluchten per demonstratieperceel

Locatie	Gewas	Datum	RGB	MS	Th	LiDAR
Kinrooi, Kessenicherweg (BE)	Asperge	27/07/2020	X	X		
		2/09/2020	X	X	X	
		24/09/2020	X	X		
		23/07/2021	X	X	X	
		20/08/2021	X	X	X	
		16/09/2021	X	X	X	
		26/07/2022	X	X	X	
		23/08/2022	X	X	X	
		15/09/2022	X	X	X	
Grashoek, Bosweg (NL)	Asperge	15/07/2020	X	X		
		29/09/2020	X	X		
Kinrooi, Seeserweg (BE)	Asperge	23/08/2022	X	X	X	
Fieldlab Venlo (NL)	Asperge + Sierheesters	15/07/2020	X	X		
		29/09/2020	X	X		
		21/07/2021	X	X	X	
		17/08/2021	X	X	X	
		21/09/2021	X	X	X	
		27/07/2022	X	X	X	
		24/08/2022	X	X	X	
		29/09/2022	X	X	X	
Grubbenvorst, Witveldweg (NL)	Asperge + Sierheesters	27/07/2022	X	X	X	
		24/08/2022	X	X	X	
		29/09/2022	X	X		
Zelee (BE)	Laanbomen	31/08/2020	X	X		
		19/07/2021	X	X	X	
		12/01/2022				X
		18/01/2022	X			
		30/08/2022	X	X	X	X
Destelbergen (BE)	Laanbomen	30/08/2022	X	X	X	X
Oudsbergen (BE)	Blauwe bes	7/05/2020	X	X		
		4/08/2020	X	X		
		4/06/2021	X	X	X	
		22/07/2021	X	X	X	
		29/06/2022	X	X	X	
Sint-Truiden (BE)	Peer	11/04/2022	X			
		13/06/2022	X	X		
		29/07/2022	X	X		
Tongeren (BE)	Peer	12/01/2022	X			X
		10/04/2022	X			
		12/06/2022	X	X		
		22/07/2022	X	X		X

Bijlage 2. Meta-analyse voor het aspergeperceel te Kinrooi

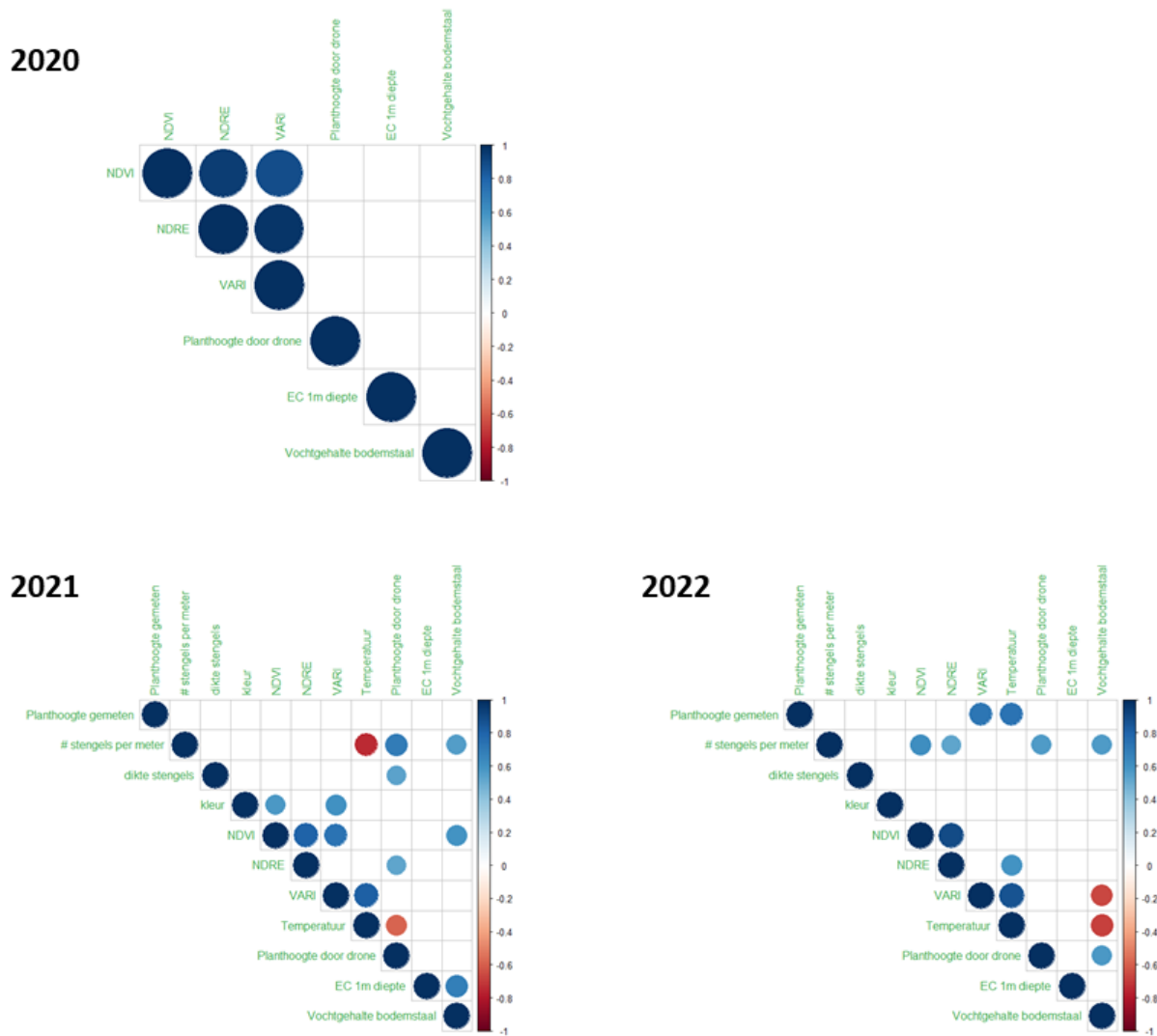
Van 2020 tot 2022 werd een aspergeperceel te Kinrooi van ruim 2 ha opgevolgd met RGB-, multispectrale en thermale dronebeelden. In 2020 werd er een bodemscan uitgevoerd op dit perceel. Elk jaar werden er drie dronevluchten uitgevoerd tijdens de bovengrondse groeifase van de asperges: in juli, augustus en september. Er werden ook bodemvochtstalen genomen. Door alle beschikbare dronegegevens met elkaar te vergelijken in een meta-analyse (Figuur B. 1) blijkt dat de verschillende dronegebaseerde gewasindices NDVI, NDRE en VARI positief gecorreleerd zijn met elkaar, alsook met de gewastemperatuur berekend uit thermale beelden. Deze laatste is bovendien negatief gecorreleerd met het bodemvochtgehalte en positief gecorreleerd met de planthoogte berekend uit de dronebeelden.



Figuur B. 1. Correlatieplot voor alle dronedata en het bodemvochtgehalte van het aspergeperceel te Kinrooi in 2020-2022. Alle weergegeven correlaties zijn significant ($p < 0,05$). De kleur en grootte van de cirkels geven de grootte en het teken van de correlatie aan.

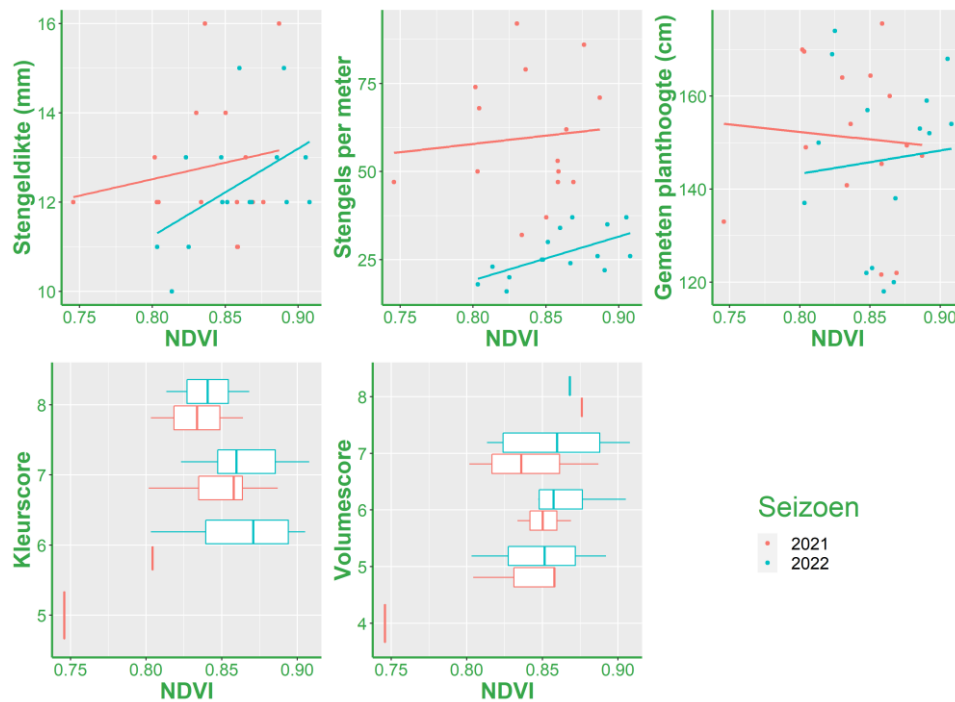
In 2021 en 2022 werden er gelijktijdig met de dronevluchten op vijf plaatsen in het veld verschillende plantparameters bepaald (kleur, planthoogte, aantal stengels per lopende meter en dikte van de stengels). Om deze te vergelijken met de dronebeelden werd de dataset opgesplitst per seizoen (Figuur B. 2). Zowel in 2021 als 2022 was er een positieve correlatie tussen de planthoogte berekend uit de dronebeelden en het aantal stengels per meter. In 2021 was er bovendien een positieve relatie tussen de NDVI/VARI en de kleur van het gewas, alsook tussen de planthoogte berekend uit de dronebeelden en de gemiddelde stengeldikte. In 2022 was er dan weer een positieve relatie tussen de NDVI/NDRE en het aantal stengels per meter.

In Bijlage 3 gaan we dieper in op het verband tussen de dronegebaseerde gewasindices (NDVI, NDRE en VARI) en de groei van het gewas.

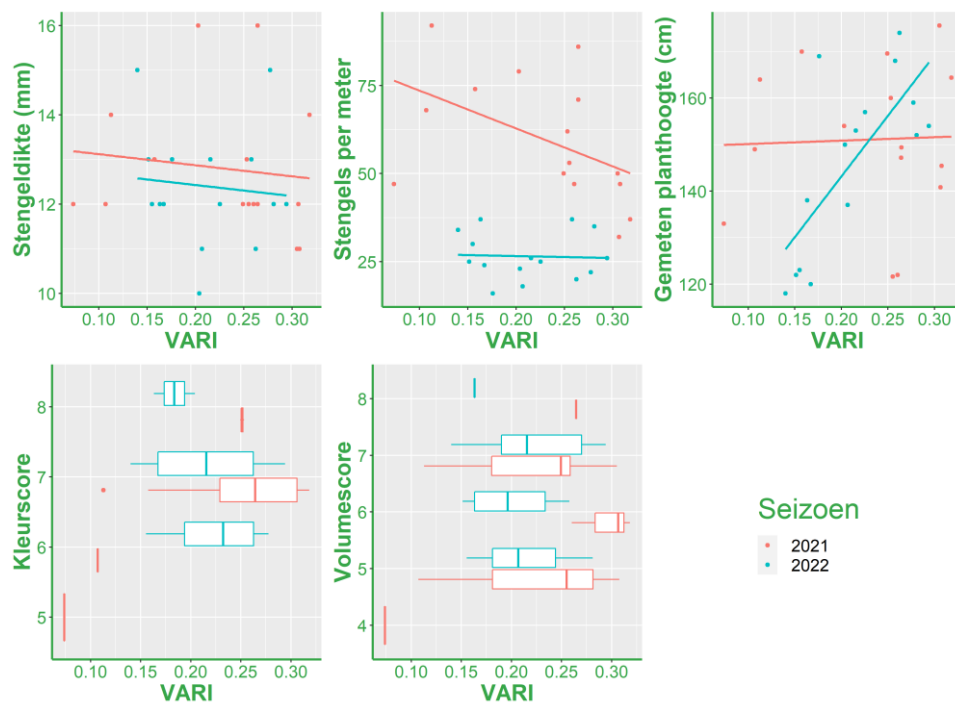


Figuur B. 2. Correlatieplot per seizoen voor alle drone- en veldgegevens voor het aspergeperceel te Kinrooi in 2020-2022. Alle weergegeven correlaties zijn significant ($p < 0,05$). De kleur en grootte van de cirkels geven de grootte en het teken van de correlatie aan.

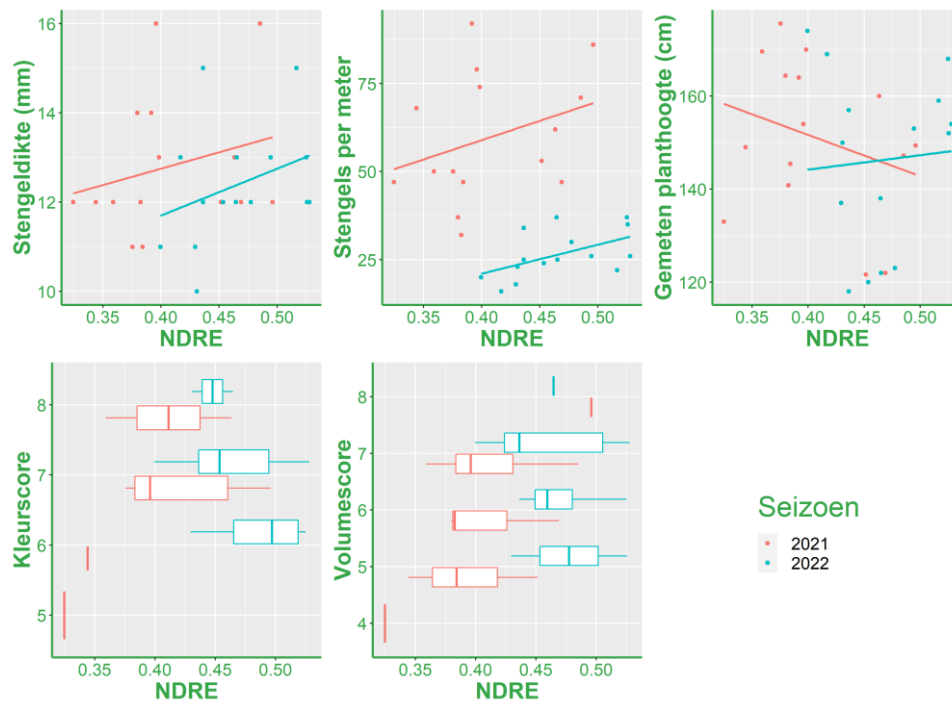
Bijlage 3. Verband tussen dronegebaseerde gewasindices en velddata bij asperge



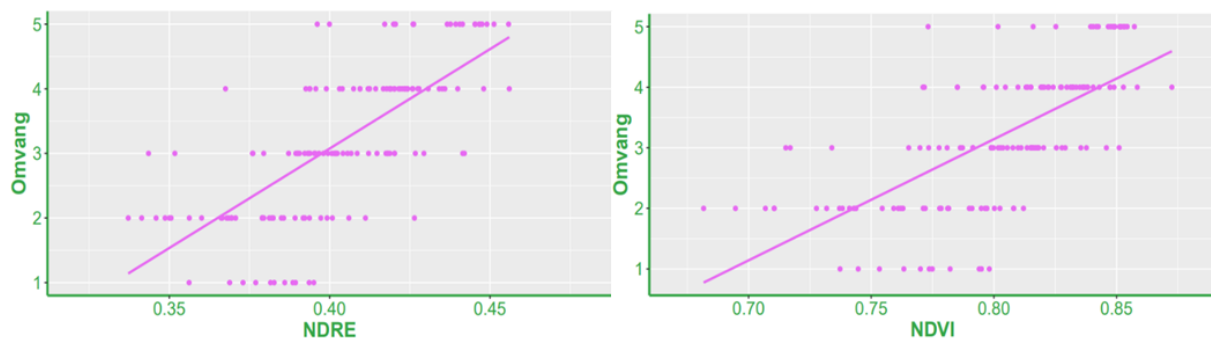
Figuur B. 3. Verband tussen de NDVI en verschillende groeiparameters in 2021 en 2022 voor het aspergeperceel te Kinrooi. Enkel het lineaire verband met het aantal stengels per meter in 2022 is significant. Voor de verschillende kleurscores is de NDVI in 2021 significant verschillend.



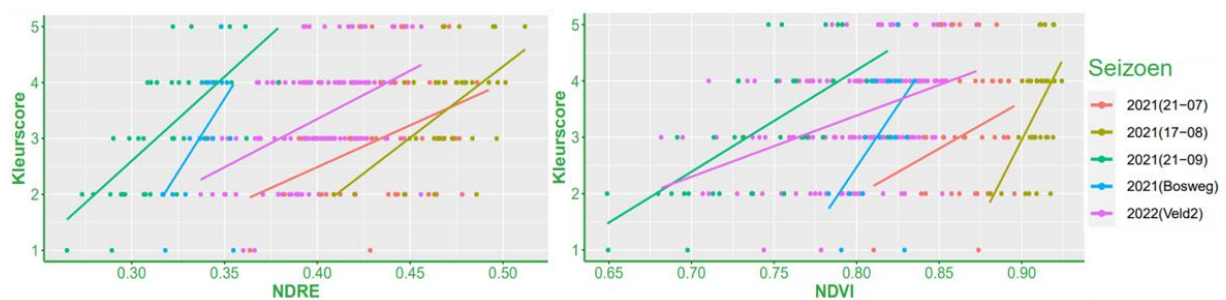
Figuur B. 4. Verband tussen de VARI en verschillende groeiparameters in 2021 en 2022 voor het aspergeperceel te Kinrooi. Enkel het lineaire verband met de gemeten planthoogte in 2022 is significant. Voor de verschillende kleurscores is de NDVI in 2021 significant verschillend.



Figuur B. 5. Verband tussen de NDRE en verschillende groeiparameters in 2021 en 2022 voor het aspergeperceel te Kinrooi. Enkel het lineaire verband met het aantal stengels per meter in 2022 is significant.



Figuur B. 6. Verband tussen de NDRE/NDVI en de omvang van het gewas (score 1-5) voor het aspergeperceel te Grubbenvorst op 27/07/22 ($n=144$). Voor zowel NDRE als NDVI bestaat er een significante correlatie met een Spearman correlatiecoëfficiënt van resp. 0,71 ($p<0.001$) en 0,68 ($p<0.001$).



Figuur B. 7. Verband tussen NDRE/NDVI en de kleurscore voor de aspergepercelen te Venlo op 21/07/2021 (rood), 17/08/2021 (bruin) en 21/09/2021 (groen), Grashoek op 21/09/2021 (blauw) en Grubbenvorst op 27/07/2022 (paars). De Spearman correlatiecoëfficiënten en p -waardes worden weergegeven in resp. Tabel B. 2 en Tabel B. 3.

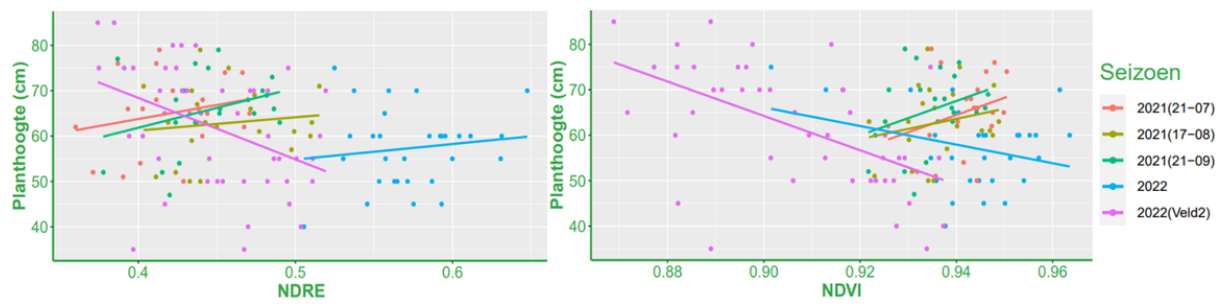
Tabel B. 2. Spearman correlatiecoëfficiënten voor de relatie tussen de kleurscore en de NDRE voor de aspergepercelen te Venlo, Grashoek en Grubbenvorst.

	Spearman cor.coëff	p-waarde
Venlo (21/07/2021)	0,39	0,018
Venlo (17/08/2021)	0,56	0,00038
Venlo (21/09/2021)	0,69	$2,64 \cdot 10^{-6}$
Grashoek (21/09/2021)	0,57	0,009
Grubbenvorst (27/07/2022)	0,48	$1,76 \cdot 10^{-9}$

Tabel B. 3. Spearman correlatiecoëfficiënten voor de relatie tussen de kleurscore en de NDVI voor de aspergepercelen te Venlo op, Grashoek en Grubbenvorst.

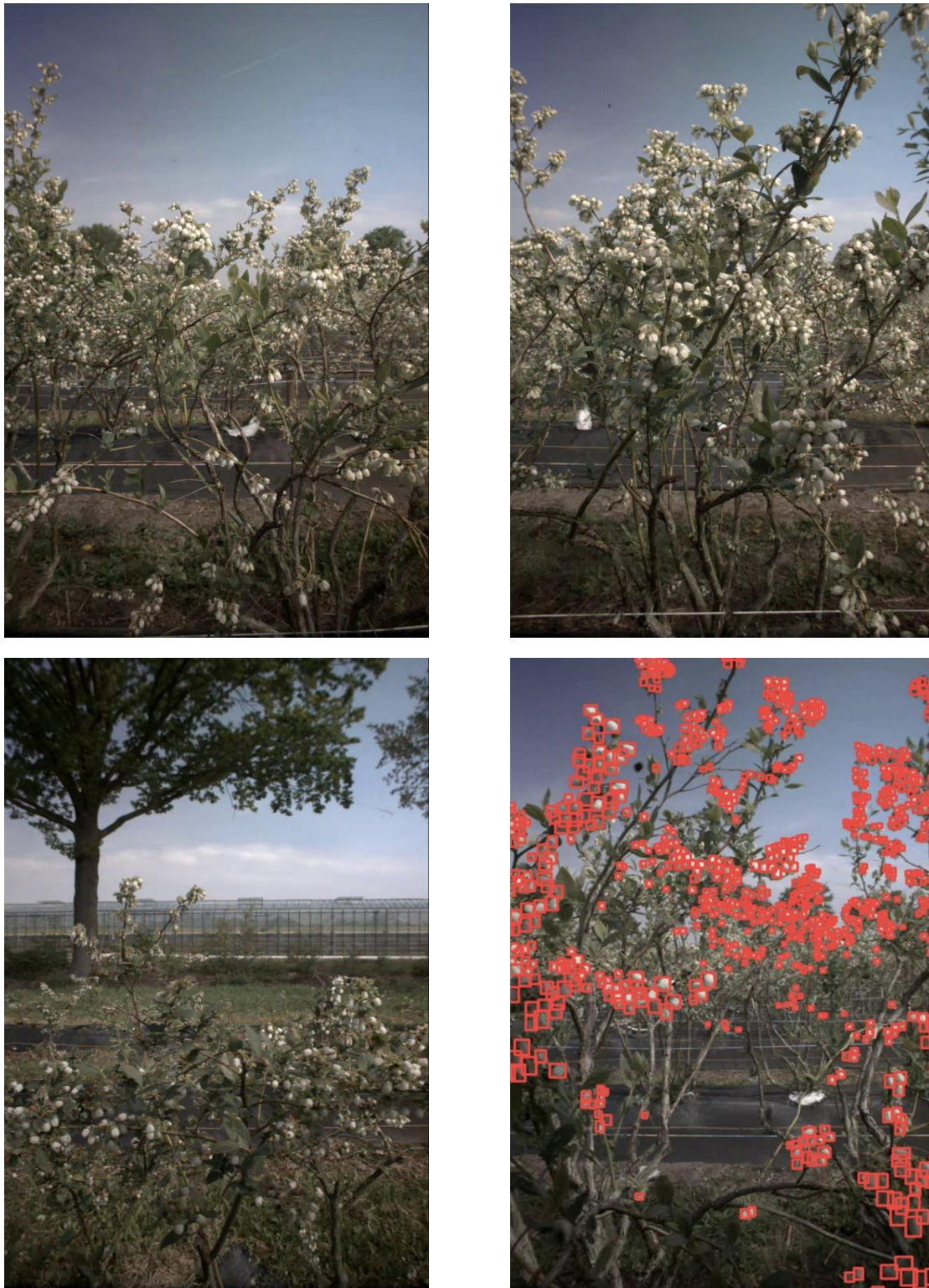
	Spearman cor.coëff	p-waarde
Venlo (21/07/2021)	0,27	0,12
Venlo (17/08/2021)	0,53	0,008
Venlo (21/09/2021)	0,67	$7,87 \cdot 10^{-6}$
Grashoek (21/09/2021)	0,54	0,01
Grubbenvorst (27/07/2022)	0,44	$4,85 \cdot 10^{-8}$

Bijlage 4. Verband tussen NDRE/NDVI en planthoogte bij Prunus



Figuur B. 8. Verband tussen de NDRE/NDVI en de planthoogte voor de prunuspercelen te Venlo en Grubbenvorst (Veld 2, paars). In 2022 zijn respectievelijk dronebeelden van 29/09/22 en 24/08/22 gebruikt.

Bijlage 5. Beelden van de camera-opstelling voor bloemdetectie bij blauwe bes



Figuur B. 9. Beelden van de camera-opstelling voor bloemdetectie bij blauwe bes. De eerste drie beelden geven aan wat de camera-opstelling in beeld kan brengen. De laatste foto is een voorbeeld van bloemen die gedetecteerd worden door het AI-model.