



Bollenrevolutie 4.0

Onderzoek Spectracam in tulp

Rapportage werkpakket voorbeeldbedrijven: onderzoek Spectracam

Sjoerd van Vilsteren, Fedde Sijbrandij, Annette Pronk, Ard Nieuwenhuizen

Rapport WPR-1232



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat

De Spectracam van Technature biedt de mogelijkheid om met behulp van spectrale fotografie een nauwkeurig en objectief beeld te krijgen van de groei en vitaliteit van een gewas. In 2021 en 2022 zijn proeven uitgevoerd op praktijkbedrijven met het ras *Carola* om de relatie tussen de gemeten reflecties met de SpectraCam en de gewasgroei van bloembollen vast te stellen. De SpectraCam meet reflectie in verschillende golflengtegebieden en zet deze om in verschillende indices als maat voor biomassa en stress van het gewas. Het doel was een beter beeld te krijgen van de relatie tussen de meetwaarden van de Spectracam en de groei, ontwikkeling en opbrengst van het gewas. In 2021 is er een veldexperiment uitgevoerd met de Spectracam op een veldspuit in Noordwijkerhout. In 2022 is opnieuw met de Spectracam gemeten in de cultivar *Carola* om de resultaten te valideren. Twee jaar aan onderzoeksgegevens zijn desondanks onvoldoende gebleken voor kalibratie en validatie van gevonden relaties. De beste relaties tussen de gewas- en SpectraCam metingen werden gevonden voor het N-gehalte en reflectie van 550 nm, 700 nm en de NDVI. De veronderstelde exponentiele relatie tussen de gewas en SpectraCam metingen bleek voor een aantal relaties beter beschreven te kunnen worden met lineaire relatie (LAI en Chlorophyll rood, NDRE en NDVI; N in gewas en Chlorophyll groen; N-gehalte en reflectie 700 nm). De bovengrondse biomassa tijdens de bloei en de bijbehorende SpectraCam metingen zijn geen goede voorspeller voor de eindopbrengst van de bol. Wel zou meetwaarde REIP (stress) rondom bloei mogelijk kunnen dienen als indicator voor lagere bol opbrengsten tijdens oogst.

Abstract

Technature's Spectracam offers the ability to obtain an accurate and objective picture of crop growth and vitality using spectral imaging. In 2021 and 2022, trials were conducted on bulb farms with the *Carola* variety to determine the relationship between the reflections measured with the SpectraCam and the crop growth of flower bulbs. The SpectraCam measures reflection in different wavelength ranges and converts it into different indices as a measure of biomass and crop stress. The goal was to get a better picture of the relationship between the SpectraCam's measurements and the growth, development, and yield of the crop. In 2021, a field experiment was conducted with the SpectraCam on a field sprayer in Noordwijkerhout. In 2022, measurements were taken again with the SpectraCam in the *Carola* cultivar to validate the results. Two years of research data have nevertheless proved insufficient for calibration and validation of found relationships. The best relationships between crop and SpectraCam measurements were found for N content and reflection of 550 nm, 700 nm, and NDVI. The assumed exponential relationship between crop and SpectraCam measurements turned out to be better described by a linear relationship for some relationships (LAI and Chlorophyll red, NDRE and NDVI; N in crop and Chlorophyll green; N content and reflection 700 nm). Above-ground biomass during flowering and associated SpectraCam measurements are not good predictors of bulb final yield. However, the REIP (stress) measurement value around flowering could possibly serve as an indicator for lower bulb yields.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1232

Projectnummer: 3742275804

DOI: <https://doi.org/10.18174/635374>

Disclaimer

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

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

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw - Bloembollen

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 - 522 51 93

glastuinbouw@wur.nl

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Proefopzet	8
2.1 Spectracam	8
2.2 Proef 2020	9
2.3 Proef 2021	9
2.4 Proef 2022	9
2.5 Dataverwerking en analyse	10
2.5.1 Dataverwerking	10
2.5.2 Data analyse	10
3 Resultaten	12
3.1 Resultaten 2020	12
3.2 Resultaten veldproeven 2021 en 2022	12
3.2.1 Metingen Spectracam	12
3.3 Veldproeven	14
3.4 Correlaties SpectraCam- en biomassametingen	15
3.5 Correlaties SpectraCam-, biomassametingen en de opbrengst	20
4 Discussie en conclusies	23
Literatuur	24
Bijlage 1 Bemonsterkaart op basis van verschillen in meetwaardes Spectracam	25
Bijlage 2 Gewas bemonsteringschema 2021	26
Bijlage 3 Correlatie tabel Bolgewicht x Meetwaardes Spectracam + loofgewicht en blad oppervlakte	27
Bijlage 4 De meetgegevens van de SpectraCam gebruikt in de analyse	28
Bijlage 5 De correlatiecoëfficiënt van de SpectraCam metingen en het drooggewicht van de verschillende bovengrondse gewasdelen en het totale bovengrondse drooggewicht en de p-waarde voor 2021 en 2022	29

Samenvatting

Technature biedt met de Spectracam de mogelijkheid aan om met behulp van spectrale fotografie een beeld te krijgen van de groei en vitaliteit van een open teelt gewas. Bollentelers willen niet alleen inzicht in de vitaliteit van hun gewas, maar ze streven er ook naar om de opbrengst van de teelt beter te kunnen voorspellen. De vraag blijft of met deze spectrografie een oordeel kan worden gedaan over de opbrengst, en of er mogelijk tijdens de teelt nog kan worden geanticipeerd op basis van deze metingen. De vraag die daarom centraal staat in deze proeven is om vast te stellen wat de relatie is tussen de gemeten reflecties met de SpectraCam en de gewasgroei van bloembollen. Om deze vraag te beantwoorden zijn in 2021 en 2022 proeven uitgevoerd op praktijkbedrijven met het ras *Carola*. In de proeven is de reflectie van het gewas regelmatig bepaald met de SpectraCam en zijn er tijdens het groeiseizoen gewasmonsters genomen.

De SpectraCam is een multi-spectrale camera die reflectie meet in verschillende golflengtegebieden. De reflectiemetingen van het onderliggende oppervlak (gewas/bodem/stro/...) worden omgezet in de 'Weighted Difference Vegetation Index' (WDVI) en de 'Normalized Difference Vegetation Index' (NDVI), beide als maat voor de aanwezige biomassa. Daarnaast worden de waarden voor Chlorofyl Rood (bladgroen) en Chlorofyl Groen (bladgroen) gemeten, en wordt het 'Red Edge Inflection Point' (REIP) berekend als maat voor de stress van het gewas.

Doel van dit onderzoek is een beter beeld krijgen van de relatie tussen de meetwaardes van de Spectracam en de groei, ontwikkeling en opbrengst van het gewas. In 2020 is er op verkennende wijze geëxperimenteerd met de Spectracam om ervaring op te doen met uitvoering en meetwaardes van de camera. Dit vond plaats in de regio Zuid-Holland (kleigrond) in cultivar Jan Seignette. In 2021 is er voor gekozen om een uitgebreider onderzoek uit te voeren met de Spectracam ten opzichte van 2020. In 2021 is de Spectracam geïnstalleerd op een veldspuit in Noordwijkerhout (duin-zandgrond) op het bedrijf van Verdegaal. Aangezien Verdegaal in 2021 geen cultivar Jan Seignette teelde is er gekozen om de metingen uit te voeren in de cultivar *Carola*. Dit vanwege de beschikbaarheid binnen het bedrijf en de relevantie van deze cultivar qua areaal en groeikarakteristieken.

In 2021 en 2022 is er op 2-wekelijkse basis gewasmonsters genomen en geanalyseerd, vanaf opkomst (begin maart) tot oogst (eind juni). Dit komt neer op 9 en 10 monstern momenten. Rondom elk monstern moment zijn er met de Spectracam opnames gemaakt van het gewas. Zodoende zijn de gewasmonsters te relateren aan de meetwaardes van de camera.

Om de resultaten van 2021 te valideren is er voor gekozen om in 2022 opnieuw met de Spectracam te meten in de cultivar *Carola*. Tevens is in het groeiseizoen van 2021 de onkruid druk in het proefperceel hoog geweest. Dit heeft er voor gezorgd dat de laatste 3 à 4 metingen met de Spectracam een vertekend beeld gaven van gewasgroei, doordat de metingen van het gewas beïnvloed werden door de aanwezigheid van veel onkruid. Ook voor het WOFOST (World Food Studies, groei model) model wat rekent met klimatologische parameters, is het van belang het onderzoek minstens 2 jaar te laten duren aangezien het weer niet elk jaar hetzelfde is. De proefopzet is dus met dezelfde maat, cultivar en grondsoort en meetdata uitgevoerd op 10 plotten van elk 20 meter lang. Dus wederom van opkomst tot oogst met dezelfde uitgebreide gewasmeetmethode als in 2021.

Twee jaar aan onderzoeksgegevens zijn onvoldoende betrouwbaar gebleken voor kalibratie en validatie van gevonden relaties tussen de camera en de gewasmetingen. Daarom zijn de resultaten van deze twee jaar samengevoegd en zijn alleen relaties berekend. De beste relaties werden gevonden tussen de gewas- en SpectraCam metingen voor het N-gehalte en reflecties bij 550 nm, 700 nm en de NDVI. Sommige relaties bleken beter lineair te zijn dan exponentieel (bijvoorbeeld LAI en Chlorophyl rood, NDRE en NDVI, N in gewas en Chlorophyl groen, N-gehalte en reflectie 700 nm). Bovengrondse biomassa en bijbehorende SpectraCam metingen tijdens de bloei zijn in dit experiment geen goede voorspellers gebleken voor eindopbrengst, biomassa van klister A bollen, totale biomassa, maat van klister A bol of aantal dochterbollen. Wel zou meetwaarde REIP (stress) rondom bloei mogelijk kunnen dienen als indicator voor lagere bol opbrengsten tijdens oogst.

1 Inleiding

Voorbeeldbedrijven

In de eerste drie werkpakketten van Bollenrevolutie 4.0 werken we aan gerichte technische ontwikkeling om met oplossingen te komen voor problemen in de teelt en om vooruitgang te boeken in precisielandbouw. Belangrijk is om bij deze ontwikkelingen de verbinding te houden tussen de schakels in de keten om zo tot een betere benutting van de informatie te komen, en uiteindelijk bij een betere bolkwaliteit en een hogere marktwaarde voor de gehele keten. Voor elk van de drie werkpakketten bekijken we waar de kansen en mogelijkheden liggen om met deeloplossingen en totaaloplossingen samen met de projectpartners de markt in te gaan.

De activiteiten voor WP4 zijn in 2019 beperkt gebleven tot het selecteren van de ondernemers die als voorbeeldbedrijf willen fungeren. Het opstarten van de andere werkpakketten, die input leveren aan het voorbeeldbedrijf heeft voorrang gekregen. In de eerste jaren is er een klankbordgroep geïnstalleerd en zijn er 3 voorbeeld bedrijven geselecteerd VOF Dogterom (Goeree-Overflakkee), Verdegaal (Noordwijkerhout) en Wit Flowerbulbs (NH). Met de klankbordgroep en de voorbeeldbedrijven is er regelmatig een overleg over de verschillende aspecten van het onderzoek. Daarnaast worden de voorbeeldbedrijven gebruikt voor o.a. het praktijkonderzoek, zoals hieronder beschreven met de Spectracam. In 2020 werden we ingehaald door Covid-19 en hebben we dit werkpakket gebruikt om het onderzoek met de nieuwe partner Technature en hun innovatie de Spectracam uit te voeren. De bedoeling was dat elk jaar zal de Spectracam op een ander voorbeeld bedrijf zou meedraaien op de veldspuit. De opnames zijn vervolgens gekoppeld aan gewasmetingen. In 2020 is het onderzoek uitgevoerd bij V.O.F. Dogterom, vanaf 2021 is de Spectracam bij Verdegaal ingezet.

Onderzoek Spectracam

De Spectracam van Technature biedt de mogelijkheid om met behulp van spectrale fotografie een nauwkeurig en objectief beeld te krijgen van de groei en vitaliteit van het gewas. Dit vanwege het feit dat bepaalde reflecties corresponderen met o.a. biomassa, bladgroen en stress. De SpectraCam is gemonteerd op de spuitboom van een veldspuit en kan bij elke bespuiting metingen verrichten. Bollentelers willen niet alleen inzicht in de vitaliteit van hun gewas, maar ze streven er ook naar om de opbrengst van de teelt beter te kunnen voorspellen. De vraag blijft of met deze spectrografie een oordeel kan worden gedaan over de opbrengst, en of er mogelijk nog kan worden geanticipeerd. Voor akkerbouwgewassen en groentegewassen zijn er relaties vastgesteld tussen reflectiemetingen en gewasgroei, d.w.z. de bodembedekking en de 'leaf area index' (LAI) (Uenk *et al.* 1992), en aan bladgroen gerelateerde N-bijbemestingsadviezen (Meurs & Booij 2002; Uenk *et al.* 2005). Een relatie tussen reflectiemetingen en de gewasgroei van bloembollen is echter nog niet vastgesteld. Het is daardoor niet duidelijk wat de metingen met een SpectraCam kunnen betekenen voor de teelt van bloembollen. Naast de relatie reflectiemetingen en bodembedekking dan wel LAI of N-bijbemesting is er ook duidelijk een vraag of de reflectiemetingen een bijdrage kunnen leveren aan het optimale oogsttijdstip.

De vraag die daarom centraal staat in deze proeven is vast te stellen wat de relatie is tussen de gemeten reflecties met de SpectraCam en de gewasgroei en bolopbrengst van tulpen. Om deze vraag te beantwoorden zijn in 2021 en 2022 proeven uitgevoerd op praktijkbedrijven met het ras *Carola*. In de proeven is de reflectie van het gewas regelmatig bepaald met de SpectraCam en zijn op diverse tijdstippen eveneens gewasmonsters genomen waarvan van de verschillende gewasdelen het versgewicht en de droge stof is bepaald, en van het blad ook het oppervlak. In 2022 is ook het stikstofgehalte in de verschillende gewasdelen bepaald. Door het bladgroengehalte, biomassa en het stressniveau van het gewas te meten, krijgt de teler meer inzicht in de plaats specifieke toestand van het gewas. Deze toestand zou vervolgens invloed kunnen hebben op het groeiverloop van de bol. Een beter inzicht in het groeiverloop van de bol kan bijvoorbeeld helpen met het bepalen van het juist oogsttijdstip. Dit verslag geeft inzicht in de belangrijkste resultaten en zal waar mogelijk als inspiratie dienen voor vervolgonderzoek.

2 Proefopzet

2.1 Spectracam

De Spectracam van Technature is een multi-spectrale camera die onder de boom van een veldspuit kan worden gemonteerd (zie Figuur 1). Hierdoor wordt bij elke spuitbeurt spectrale data verzameld die informatie geeft over de groei en gezondheid van het gewas. De SpectraCam meet reflecties van gewas en bodem voor verschillende golflengten, namelijk het zichtbare licht (ca. 400-700 nm), het infraroodgebied (ca. 700-1400 nm) en het waterabsorptiegebied (1400-2300 nm).

De SpectraCam is een multi-spectrale camera die reflectie meet in verschillende golflengtegebieden. De reflectiemetingen van het onderliggende oppervlak (gewas/bodem/stro/) worden omgezet in de 'Weighted Difference Vegetation Index' (WDVI, [%]) en de 'Normalized Difference Vegetation Index' (NDVI, [%]), beide als maat voor de aanwezige biomassa. Daarnaast worden de waarden voor Chlorofyl Rood (bladgroen) en Chlorofyl Groen (bladgroen) gemeten, en wordt het 'Red Edge Inflection Point' (REIP, [-]) berekend als maat voor de stress van het gewas.

In tegenstelling tot vergelijkbare gewassensoren kan de SpectraCam al in een vroeg stadium het gewas onderscheiden van de achtergrond (bodem). Het gewas hoeft daarom niet bodembedekkend te zijn, waardoor de camera ook kan worden gebruikt in gewassen zoals uien vanaf de opkomstfase. De camera is in 2018 op de markt geïntroduceerd en er zijn reeds vijf systemen in gebruik genomen bij telers van aardappelen, spruiten, uien, tarwe en bonen.



Figuur 1 Spectracam gemonteerd onder de boom van een veldspuit.

2.2 Proef 2020

In dit jaar is er op verkennende wijze geëxperimenteerd met de Spectracam om ervaring op te doen met uitvoering en meetwaardes van de camera. Bij VOF Dogterom in Goeree-Overflakkee zijn 10 meetlocaties binnen een tulpenperceel (kleigrond) (cultivar Jan Seignette, maat 8-9) aangewezen als geschikt voor bemonstering (Bijlage 1.) Hierbij is gedacht aan de verschillende resultaten bladgroen (kleuren per locatie) die de Spectracam tot dan toe had laten zien, zodat we deze verschillen kunnen vergelijken. De 10 locaties binnen het veld zijn verdeeld over 4 spuitsporen. 2 spuitsporen aan de Westelijke kant is met fertigatie (Spoor 1 & 2), de 2 spuitsporen aan Oostelijke kant zijn zonder en enkel beregend (Spoor 4 & 5). Elke meetlocatie was circa 40 meter lang. Naast versgewicht is clusters en loof (per 20 tulpen) is ook bladoppervlakte bepaald. Vanwege het verkennende karakter van deze proef zijn de gewasmonsters niet zo uitvoerig gemeten als de jaren erna.

2.3 Proef 2021

In 2021 is er voor gekozen om een uitgebreider onderzoek uit te voeren met de Spectracam ten opzichte van 2020. In dit jaar is de Spectracam geïnstalleerd op de veldspuit van Henk Verdegaal in Noordwijkerhout (duin-zandgrond). Aangezien Henk geen cultivar Jan Seignette teelde is er gekozen voor het cultivar *Carola*, maat 9-11 op bed A en 11+ op bed B. Dit vanwege de beschikbaarheid binnen het bedrijf van Verdegaal en de relevantie qua areaal en groeikarakteristieken ten opzichte van de rest van de sector.

Doel van dit onderzoek was een beter beeld te krijgen van de relatie tussen de meetwaardes van de Spectracam en de groei, ontwikkeling en opbrengst van het gewas. In dit jaar is er voor gekozen het gewas op 2-wekelijks basis te monitoren vanaf opkomst (begin maart) tot oogst (eind juni). Dit komt neer op 9 monsternummers waarbij rond elke monsternummer ook met de Spectracam is gereden. Zodoende zijn de gewasmonsters te relateren aan de meetwaardes van de camera.

De gewasmonsters zijn bij elke moment uitgebreid gewogen. Dit houdt in dat van de volgende onderdelen het vers en drooggewicht is bepaald van 10 tulpen uit het betreffende plot:

- Steel: ondergronds en bovengronds apart
- Bloem: na significante vorming
- Bladeren
- Moederbol
- Dochterbollen: Na significante vorming

Daarnaast is op elk moment de bladoppervlakte, aantal klusters (dochterbollen) en maat van bollen bepaald. Deze gegevens konden zodoende dienen voor zowel de relatie met de Spectracam worden gezocht als voor input voor het WOFOST groeimodel.

2.4 Proef 2022

Om de resultaten van 2021 te valideren is er voor gekozen om in 2022 opnieuw met de Spectracam te meten in het cultivar *Carola*. Tevens is in het groeiseizoen van 2021 de onkruid druk in het proefperceel hoog geweest. Dit heeft er voor gezorgd dat de laatste 3 à 4 metingen met de Spectracam een vertekend beeld gaven van gewasgroei. Ook voor het WOFOST model wat rekent met klimatologische parameters, is het van belang het onderzoek minstens 2 jaar te laten duren aangezien het weer niet elk jaar hetzelfde is. De proefopzet is dus met dezelfde maat, cultivar en grondsoort en meetdata uitgevoerd op 10 plotten van elk 20 meter lang. Dus wederom van opkomst tot oogst met dezelfde uitgebreide gewasmeetmethode als in 2021.

De reflectiemetingen van 2022 zijn uitgevoerd tijdens het groeiseizoen van 5 april tot en met 2 juli, 7 meetmomenten in totaal (15 en 30 april, 12 en 31 mei, 7 en 23 juni en 2 juli), eveneens in het ras *Carola*, plantmaat 8-10 cm. Op 9 momenten tijdens het groeiseizoen zijn destructieve metingen uitgevoerd waarin opnieuw het vers en drooggewicht van de boven- en ondergrondse gewasdelen, het bladoppervlak is bepaald. In 2022 is er het initiatief geweest om ook te kijken naar de mogelijkheden omtrent het gebruiken van de Spectracam bij de stikstof bijbemesting. Vanwege het feit dat bijbemesting in 2021 niet nodig was bij het betreffende perceel is dit onderdeel niet verder uitgewerkt. Wel is in dit jaar gekeken naar de relatie tussen de inhoudsstoffen van het gewas en de meetwaarden van de Spectracam. In de laatste 5 meetmomenten is het bladmateriaal naar Eurofins gestuurd voor nutriëntenanalyse. In dit laatste meetjaar is er ook voor gekozen om alle plotten op 1 bed te leggen in plaats van te verdelen over 2 bedden. Dit vanwege de kans dat de stand van de zon mogelijk een effect heeft op de reflectiewaarden van de camera. De rijrichting is op deze wijze voor elke plot hetzelfde.

2.5 Dataverwerking en analyse

2.5.1 Dataverwerking

Data cleaning

De meetgegevens van de SpectraCam zijn geanalyseerd voor identificatie van metingen die sterk afwijken, de zgn. 'outliers'. Op diverse meetmomenten bleken waarnemingen sterk af te wijken van het gemiddelde, waarbij een correctie voor hoogte onvoldoende verbetering bracht en deze waarnemingen zijn uit de dataset verwijderd. De waarnemingen zijn vervangen door "missing values" (symbool: *). In de analyses worden hierdoor gepaste waarnemingen gegenereerd door GENSTAT.

Data selectie voor analyses

Voor de analyse zijn gepaarde waarnemingen geselecteerd: alle SpectraCam metingen en biomassa bepalingen op dezelfde datum of maximaal met 1 dag verschil. Dit waren 6 tijdstippen in 2021 (2, 15 en 28 april, 11 en 29 mei, 8 juni) en 5 tijdstippen in 2022 (15 en 30 april, 12 mei, 23 juni, 2 juli).

2.5.2 Data analyse

De analyses zijn uitgevoerd met GENSTAT 22 en zijn stapsgewijs uitgevoerd.

Biomassa in 2021

Als eerste is gekeken of er verschillen zijn in biomassa van de verschillende plantonderdelen en het bladoppervlak tussen de geplante bolmaten. Bij geen statistische verschillen worden de meetresultaten samengevoegd.

Correlatie SpectraCam metingen en biomassa

Voor het vaststellen van de correlaties tussen de verschillende metingen van de SpectraCam en de verschillende onderdelen van de destructieve metingen zijn de gepaarde waarnemingen geselecteerd. De relaties met een correlatiecoëfficiënt van meer dan 40% en een significante hellingshoek zijn verder uitgewerkt. De dataset van 2021 is gebruikt voor een regressieanalyse met een vooraf vastgestelde curve, een exponentiële curve. De gefitte parameters zijn vervolgens gebruikt om de data van 2022 te voorspellen en de voorspelling is geëvalueerd. Het model dat is gefit is:

$$Y = A + B \cdot (R^{**}X)$$

Waarin Y de voorspellen parameter is, A de interceptie is met de Y-as, B en R modelparameters en X de SpectraCam meting.

De hoogte waarop de SpectraCam meting wordt uitgevoerd kan een belangrijke invloed hebben op het meetresultaat. Daarom is de analyse eveneens uitgevoerd met de SpectraCam metingen gedeeld door de hoogte. Deze correctiestap gaf geen andere resultaten en is daarom niet opgenomen in de rapportage.

Na het uitwerken van deze strategie bleek dat de voorspellende waarde van de berekende relaties (voor 2022) erg laag was: in bijna alle berekeningen was de spreiding tussen de gemeten en voorspelde waarde erg groot zodat de regressie tussen gemeten en voorspelde waarde erg laag of niet aanwezig was. Daarom zijn de berekeningen opnieuw uitgevoerd voor beide jaren samen. Aanvullend is bij deze berekening het laatste meetpunt van 2022 uit de dataset verwijderd omdat de lage gemeten waarden voor LAI een grote verstoring hebben op de correlatieberekeningen tussen reflectie metingen en LAI.

Correlatie SpectraCam metingen, biomassa rond de bloei en diverse opbrengstparameters

Voor beide proeven zijn de biomassa metingen vlak voor de bloei in deze analyse meegenomen en gerelateerd aan de drogestof van de klister A (marktbaar product), de totale drogestof hoeveelheid, de maat van de klister A (omtrek in cm) en het aantal dochterbollen. Het gaat hier om een relatie tussen het meetmoment vlak voor de bloei (biomassa metingen en bijbehorende SpectraCam metingen) en de eindopbrengst. Evenals bij de relatie tussen SpectraCam- en biomassametingen tijdens het gehele groeiseizoen (par 4.3) is een model gefit, echter nu een lineair model. De procedure is hetzelfde maar de criteria zijn aangescherpt omdat het hier om erg weinig waarnemingen gaat (twee bloeimomenten en twee eindopbrengsten). Een correlatie van meer dan 80% en een significante hellingshoek zijn verder geanalyseerd.

3 Resultaten

3.1 Resultaten 2020

De resultaten van de proef met de Spectracam bij VOF Dogterom in 2020 zijn lastig te interpreteren aangezien de data ervan alleen de laatste 6 weken van de groei representeren. De dataset is dus aan de kleine kant om echt de relaties te vinden tussen gewas en meetwaarden van de Spectracam. Daarnaast is alleen het versgewicht van de monsters gemeten en geen drooggewicht. Wel was er een duidelijk verschil opgemerkt in gewicht (gram per 20 planten gemonsterd), gemeten chlorofyl en REIP tussen het fertigatie en het enkel beregende gedeelte van het perceel, zie Tabel 1.

Tabel 1 Resultaten Spectracam proef tulp 2020 (gewicht per 20 planten).

Perceel	Gewicht bol (20 g)	Chlorofyl	Reip
fertigate	717	2,86	702,7
beregend	653	3.32	736,2

In Bijlage 3 zijn alle gevonden correlaties weergegeven tussen de meetwaarden van de Spectracam en gewicht van de bol. Logischerwijs is te zien dat loofgewicht en bladoppervlakte correleren met gewicht van de bol. Maar als we kijken naar hoe loofgewicht en bladoppervlakte correleren met de meetwaarden van de Spectracam, dan zijn de correlaties weer inconsistent en valt daar weinig over te zeggen.

Uit de correlatie tabellen is gebleken dat meetwaarden Chlorofyl rood en NDRE verhoudingsgewijs sterke en consistente correlaties gaven met bolgroei. De overige meetwaarden welke hoge correlaties met bolgroei lieten zien, waren minder consistent onder de verschillende meet locaties. Bolgroei gaf naar verwachting een sterke correlatie met loofgewicht en blad oppervlakte, waardoor deze 2 zouden kunnen worden gebruikt om bolgroei te voorspellen zonder monsters te nemen van bollen. Aangezien de dataset uit deze proef gering is, is het lastig gebleken om met zekerheid conclusies te trekken over deze proef.

3.2 Resultaten veldproeven 2021 en 2022

3.2.1 Metingen Spectracam

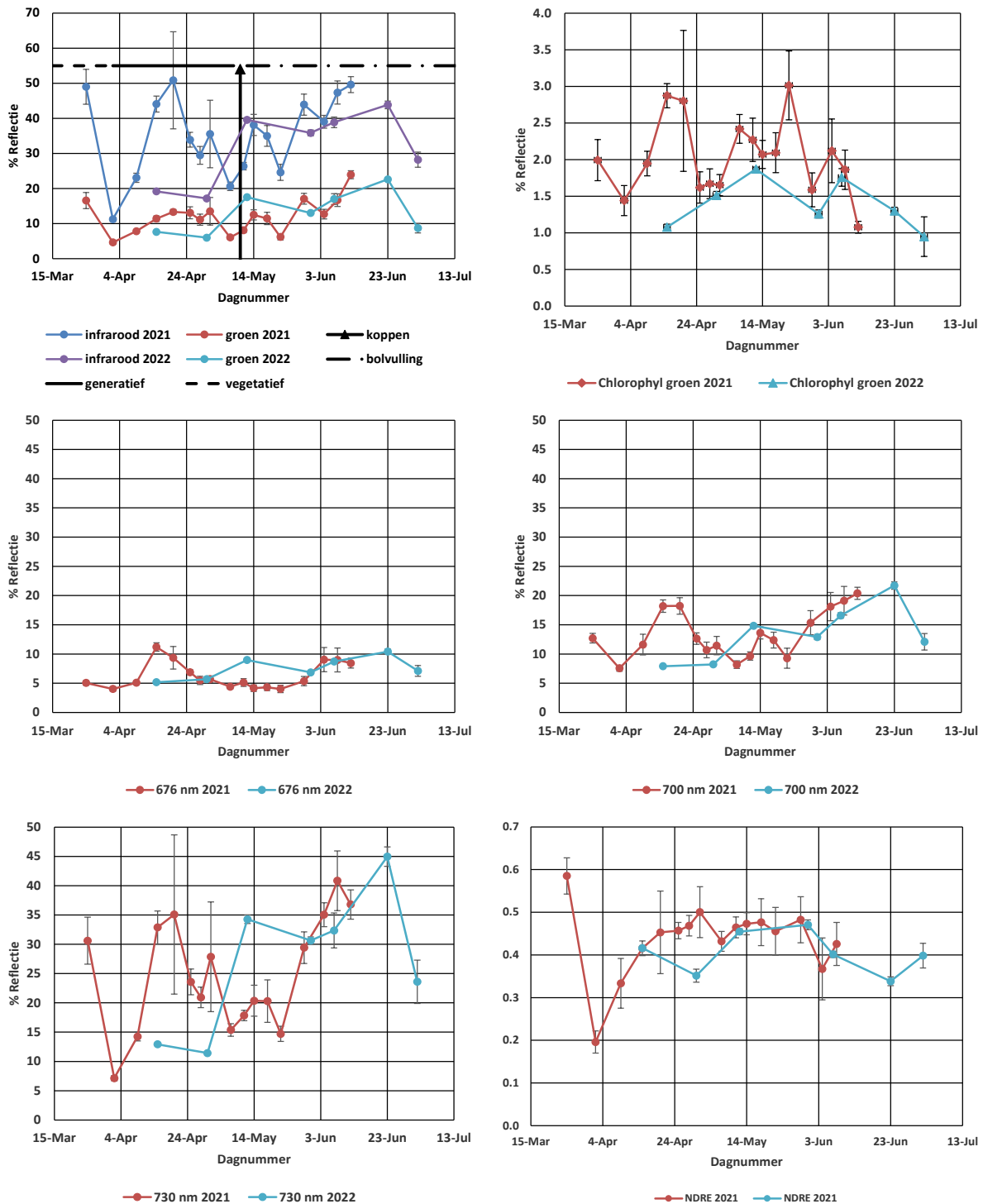
De metingen met behulp van de SpectraCam zijn gevisualiseerd in Figuur 2. In de eerste grafiek (linkerbovenhoek) is tevens de gewasontwikkeling weergegeven voor het ras *Carola*, zoals waargenomen tijdens de experimenten. Het tijdstip van koppen is duidelijk gemarkeerd, evenals de vegetatieve groeifase voorafgaand aan de generatieve groeifase en de bolgroei na koppen. De reflectie in het infrarood- en groene spectrum (550 nm) vertoont een grillig patroon. Er is geen duidelijke trend waarneembaar, aangezien de reflectie zowel hoge als lage waarden laat zien.

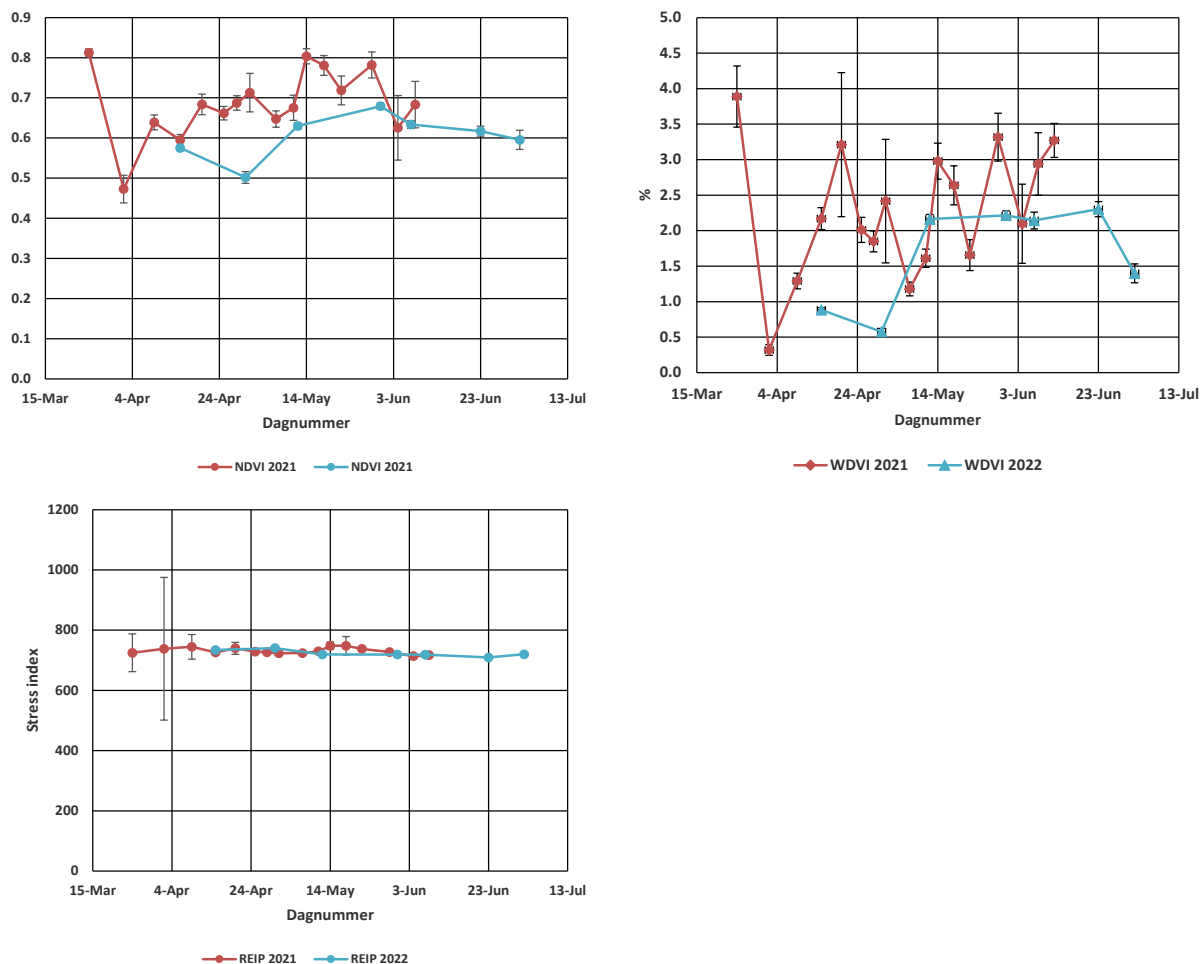
De gemeten waarden van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) liggen in dezelfde orde van grootte als de waarnemingen voor de tulpencultivar 'Jumbo Pink' in 2016 en 2017 (Kempenaar *et al.*, 2019), waarbij de NDVI werd gebruikt om de dosering van gewasbeschermingsmiddelen aan te passen. De opvallende dip in NDVI die Kempenaar *et al.* (2019) vonden voor de cultivar 'Yellow Flight', met een plantmaat van 7-8 cm en 9-11 cm rond de bloei/ontbolstering, werd niet waargenomen bij *Carola*.

Om de reflectiemetingen uitgedrukt in de Weighted Difference Vegetation Index (WDVI) van de SpectraCam te kunnen vergelijken met waarden uit de literatuur, dient de gemeten reflectie van de SpectraCam gedeeld te worden door 10 om een fractiewaarde te verkrijgen of vermenigvuldigd te worden met 10 om een

percentage te verkrijgen (mondelinge communicatie, Sijbrandij). Eerdere studies (Vlaming & van Dam, 2003; Van Wees & van Dam, 2004; Van Wees *et al.*, 2005; Van Dam & Vlaming, 2005; Kempenaar *et al.*, 2019) rapporteerden WDWI-waarden tussen 10% en 32% met behulp van de CropScan, terwijl de waarden verkregen met de SpectraCam variëren tussen 5% en 35% (0,5 tot 3,5 gemeten waarden), met uitzondering van enkele uitschieters. Deze bevindingen zijn in overeenstemming met de in de literatuur gerapporteerde waarden. Niettemin vertonen de gepresenteerde resultaten in de literatuur aanzienlijk minder variatie gedurende het groeiseizoen dan de metingen met de SpectraCam.

Voor de resultaten van 2021 dient opgemerkt te worden dat de metingen na 20 mei mogelijk verstoord zijn door onkruidgroei, waardoor de betrouwbaarheid van de gewasreflecties mogelijk is beïnvloed.

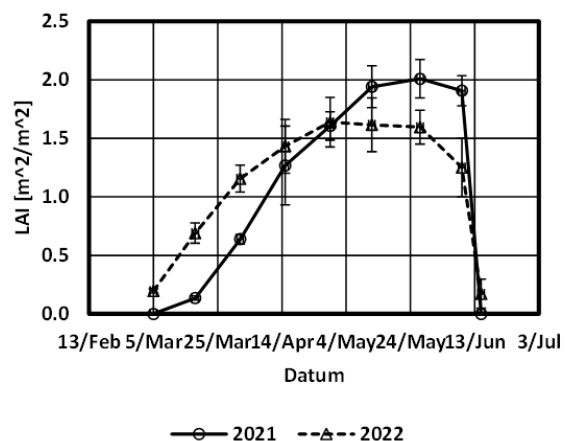




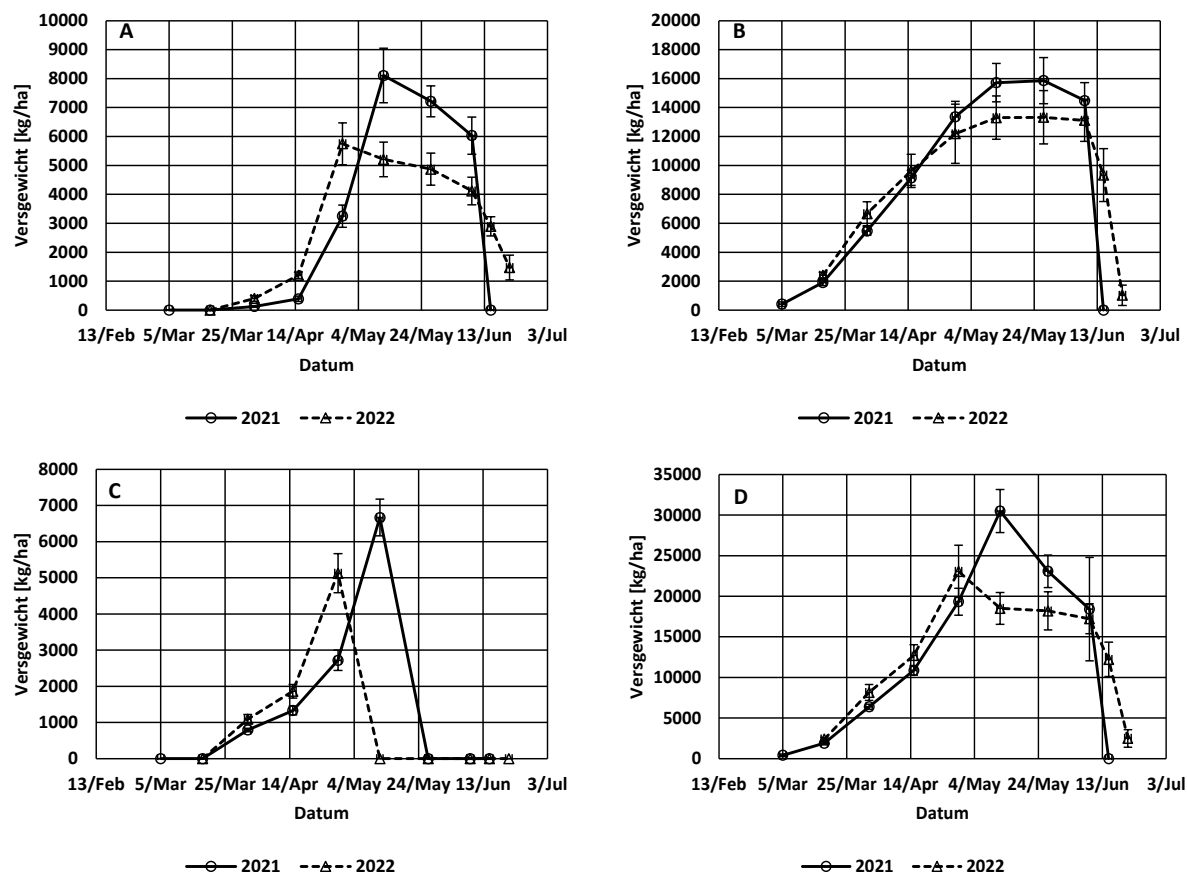
Figuur 2 Grafieken welke het verloop weergeven van de verschillende SpectraCam metingen in de tijd voor 2021 en 2022.

3.3 Veldproeven

De toename van de LAI en de verschillende gewasonderdelen in de tijd staan in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** en **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**. De LAI loopt op in het groeiseizoen, bereikt een maximale waarde en daalt bij het afsterven van het gewas. De maximale LAI ligt tussen de 1.5 en 2. Dat is betrekkelijk laag zodat er geen volledige gewasbedekking is, dat treedt doorgaans op vanaf een LAI van 3.



Figuur 3 Het verloop van de LAI in de tijd voor 2021 en 2022.



Figuur 4 Overzicht van de biomassabepalingen (versgewicht) op de verschillende tijdstippen voor 2021 en 2022. A: bovengrondse stengelbiomassa, B: bladbiomassa, C: bloembiomassa, D: totale bovengronds biomassa.

De andere gewasmetingen volgen een vergelijkbaar patroon, waarbij de totale biomassa vanaf het kappen van de bloemen afneemt. De biomassa neemt af doordat een deel via het kappen is verwijderd maar ook omdat de nieuwgevormde en bestaande biomassa naar de ondergrondse plantendelen gaat.

Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de geplante bolmaten in 2021 in de gemeten bovengrondse biomassa of de LAI. Daarom wordt de factor bolmaat buiten beschouwing gelaten en de resultaten samengevoegd.

3.4 Correlaties SpectraCam- en biomassametingen

De resultaten van de correlatieberekeningen voor de SpectraCam metingen en de LAI en diverse gewasonderdelen (versgewicht) staan in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.2** en de resultaten van de correlatieberekeningen voor de diverse gewasonderdelen (drooggewicht) staan in Bijlage 5. De vetgedrukte relaties in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.2** hebben een significante p waarde en een correlatiecoëfficiënt groter dan 40% en voldoen hiermee aan de criteria voor verdere uitwerking (par 3.3.2). De relaties tussen LAI, blad en stengel enerzijds en Chlorophyl rood, NDRE, NDVI en WdVI anderzijds voldoen aan de criteria, waarbij de relatie tussen LAI en 780 nm ook voldoet. LAI wordt verder uitgewerkt als voorbeeld. Tevens wordt de totale bovengrondse biomassa verder uitgewerkt. Bloem heeft wel geselecteerde relaties maar geeft een totaal ander beeld en wordt niet verder uitgewerkt.

Tabel 2 De correlatiecoëfficiënt van de SpectraCam metingen en de LAI, het versgewicht van de verschillende bovengrondse gewasdelen en het totale bovengrondse versgewicht en de p-waarde voor 2021 en 2022 samen. De vetgedrukte relaties voldoen aan de criteria voor verdere uitwerking.

Parameter	LAI		Stengel		blad		Bloem		Totaal	
	R ²	P	R ²	P	R ²	p	R ²	P	R ²	P
550 nm	0.354	<0.001	0.2351	0.0192	0.2621	0.0088	-0.6153	<0.001	0.0248	0.8074
676 nm	0.045	0.656	-0.1626	0.1078	-0.0806	0.4275	-0.4185	<0.001	-0.2354	0.019
700 nm	0.228	0.023	0.0454	0.6551	0.0909	0.3708	-0.5789	<0.001	-0.1213	0.2317
730 nm	0.355	<0.001	0.1635	0.1059	0.2357	0.0189	-0.5619	<0.001	0.0009	0.9928
780 nm	0.493	<0.001	0.2533	0.0114	0.3755	<0.001	-0.522	<0.001	0.1169	0.2491
Chlorophyl groen	0.1642	0.1044	0.0057	0.9552	0.129	0.2031	0.4129	<0.001	0.1962	0.0516
Chlorophyl rood	0.7608	<0.001	0.5581	<0.001	0.7695	<0.001	0.0841	0.4078	0.6205	<0.001
NDRE	0.7632	<0.001	0.5503	<0.001	0.7674	<0.001	0.1141	0.2608	0.626	<0.001
NDVI	0.7497	<0.001	0.5772	<0.001	0.7182	<0.001	-0.1702	0.2608	0.5223	<0.001
REIP	-0.0778	0.4442	-0.0264	0.7951	-0.0451	0.6579	0.2104	0.0366	0.0344	0.7357
WDVI	0.6306	<0.001	0.4211	<0.001	0.5396	<0.001	-0.4741	<0.001	0.2778	0.0054

De correlatiecoëfficiënten voor N gehalte en de verschillende SpectraCam metingen zijn hoog, vooral voor de verschillende reflectie golflengten, rond de 90% (Tabel 33). Ook is de correlatiecoëfficiënt tussen de stressfactor REIP en de hoeveelheid N in de bovengrondse biomassa hoog, 90%.

Tabel 3 De correlatiecoëfficiënt van de SpectraCam metingen en de totale hoeveelheid N in de bovengrondse biomassa en het N-gehalte in het gewas, en de p-waarde (2022). De vetgedrukte relaties voldoen aan de criteria voor verdere uitwerking.

Parameter	N in gewas		N-gehalte	
	R ²	P	R ²	p
550 nm	-0.6619	<0.001	-0.9213	<0.001
676 nm	-0.5467	<0.001	-0.9208	<0.001
700 nm	-0.6628	<0.001	-0.9635	<0.001
730 nm	-0.6332	<0.001	-0.9269	<0.001
780 nm	-0.5873	<0.001	-0.8832	<0.001
Chlorophyl groen	0.8337	<0.001	0.0552	0.6778
Chlorophyl rood	0.3018	0.0584	0.7615	<0.001
NDRE	0.3413	0.0311	0.7696	<0.001
NDVI	-0.6176	<0.001	0.7505	<0.001
REIP	0.9006	<0.001	-0.0548	0.6803
WDVI	-0.8451	<0.001	0.4804	<0.001

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**4 staan de berekende parameters voor de verwachte exponentiele curven die de relatie tussen de gewaswaarnemingen en de SpectraCam metingen en in de Figuren 5, 6, 7 en 8 zijn de metingen en de berekende curven uitgezet.

De standaard fout van enkele parameters is erg groot, een factor 10, zie bijvoorbeeld de parameters voor alle gewasmetingen en NDRE (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**4). Dit maakt de relaties onzeker en een andere relatie past wellicht beter.

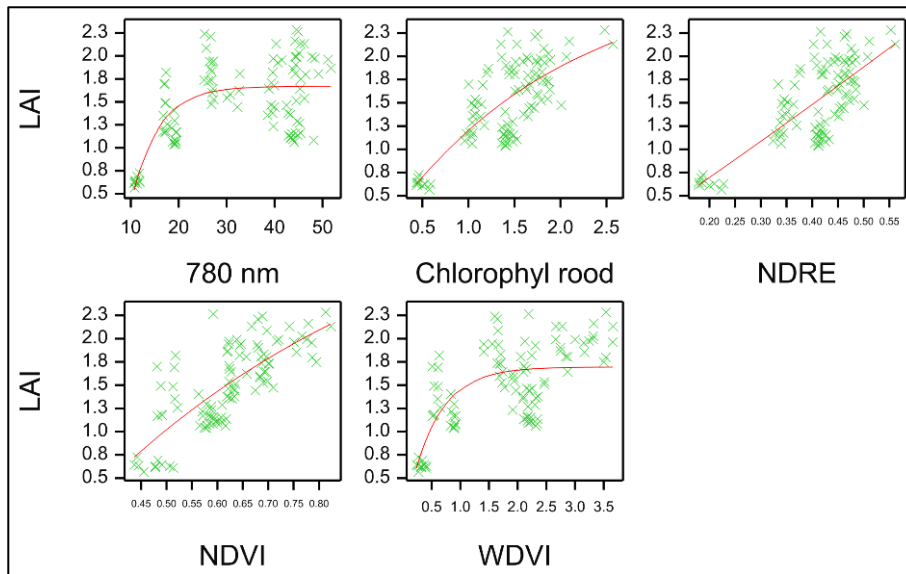
Het hoogste percentage verklaarde variatie wordt gevonden voor het N-gehalte en de reflectie 550 nm en 700 nm en NVDI, hetgeen ook naar voren komt uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.. In Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** links boven (N versus 550 nm) is duidelijk te zien dat de reflectie voor een hoog N-gehalte lager is dan bij een laag N-gehalte. Indien een streefwaarde bekend is voor het gewenste N-gehalte (Y-waarde tussen 20 en 45 g/kg) zou deze meting de afwijking moeten kunnen identificeren. Hetzelfde geldt voor de reflectie bij 700 nm en de NDVI.

Om de bijbemesting aan de gemeten gewasreflectie te relateren zijn diverse proeven uitgevoerd voor de cultivar 'Leen van der Mark' met de CropScan (van Dam & Vlaming-Kroon 2005; van Wees *et al.* 2005; van Wees & van Dam 2004; Vlaming & van Dam 2003) die als een opstap naar verdere ontwikkeling kunnen worden gebruikt.

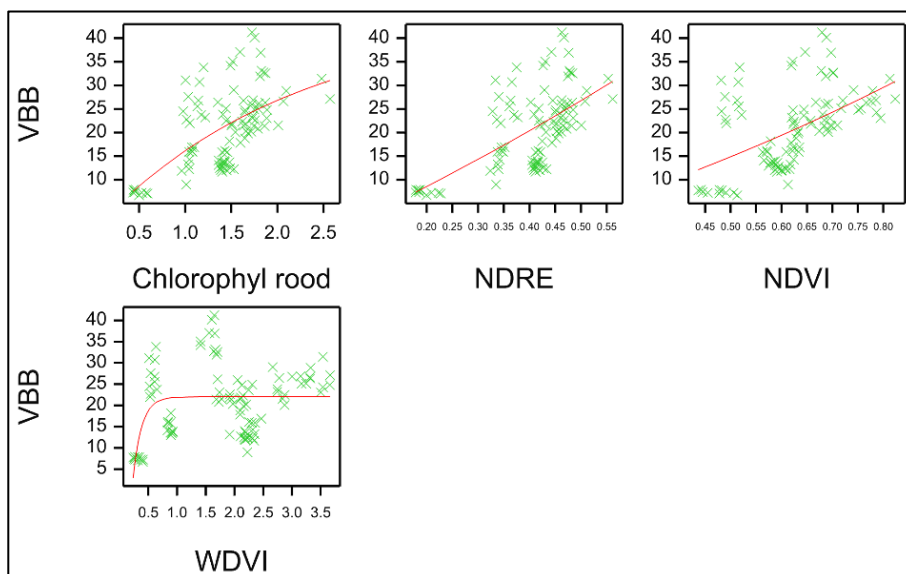
Tabel 4 De berekende parameters met de standaard fout voor de exponentiele curve tussen de SpectraCam metingen en de gewasmetingen LAI en totale verse bovengrondse biomassa.

Gewasmeting	SpectraCam meting	A	Std fout	B	Std fout	R	Std fout	R ²	St fout
LAI	780 nm	-7.86	3.80	1.67	0.04	0.83	0.03	47.8	0.322
	Chlorophyll rood	-2.86	0.72	2.90	0.91	0.60	0.18	57.2	0.291
	NDRE	20.99	200.62	-21.05	200.97	1.19	1.90	56.8	0.293
	NDVI	-6.26	0.81	3.98	2.67	0.22	0.36	56.9	0.292
	WDVI	-1.72	0.37	1.70	0.05	0.14	0.08	45.1	0.330
Totale bovengrondse biomassa	Chlorophyll rood	-45.88	20.90	45.07	25.20	0.63	0.28	38.0	6.54
	NDRE	103.13	565.60	-105.30	572.90	1.64	3.78	37.9	6.54
	NDVI	44.37	269.80	-48.07	290.40	2.01	5.94	25.8	7.15
	WDVI	-92.47	80.00	22.03	0.80	0.001	0.004	19.7	7.44
N in gewas [kg/ha]	550 nm	2.1E+05	8.9E+05	55.98	4.13	0.25	0.18	57.8	18.8
	676 nm	-0.03	0.10	86.35	6.40	2.02	0.63	40.6	22.3
	700 nm	-0.73	2.10	88.62	9.87	1.22	0.15	47.9	20.9
	730 nm	-0.49	1.15	87.49	6.73	1.11	0.05	44.9	21.5
	780 nm	1.5E+07	6.8E+07	54.83	4.38	0.48	0.13	53.1	19.8
	Chlorophyll groen	6.6E+02	6.1E+03	-681.88	6160.94	1.10	0.83	65.9	16.9
	REIP	-3.9E+38	1.6E+40	88.61	6.81	0.89	0.05	51.0	20.3
	NDVI	3.7E+04	1.6E+05	44.26	20.83	0.00	0.00	46.3	21.2
	WDVI	575.24	502.69	54.75	4.58	0.01	0.02	50.3	20.4
N-gehalte in gewas [g/kg]	550 nm	-0.95	0.62	42.48	1.41	1.15	0.03	91.2	2.30
	676 nm	-1.39	1.55	46.26	3.95	1.31	0.12	86.9	2.82
	700 nm	-33.96	44.54	82.16	46.86	1.03	0.03	92.7	2.10
	730 nm	-2.22	1.53	44.25	2.44	1.05	0.01	89.5	2.51
	780 nm	-0.06	0.07	40.85	0.89	1.14	0.03	86.3	2.87
	Chlorophyll rood	-6216	36905	36.96	2.12	0.00	0.01	15.0	7.16
	NDRE	-863212	8169966	37.10	2.09	0.0E+00	3.3E-14	40.5	5.99
	NDVI	-2.5E-03	1.7E-02	43.06	5.49	1002383	10446000	90.7	2.37
	WDVI	-0.13	0.19	40.75	1.13	7.75	4.52	78.3	3.62

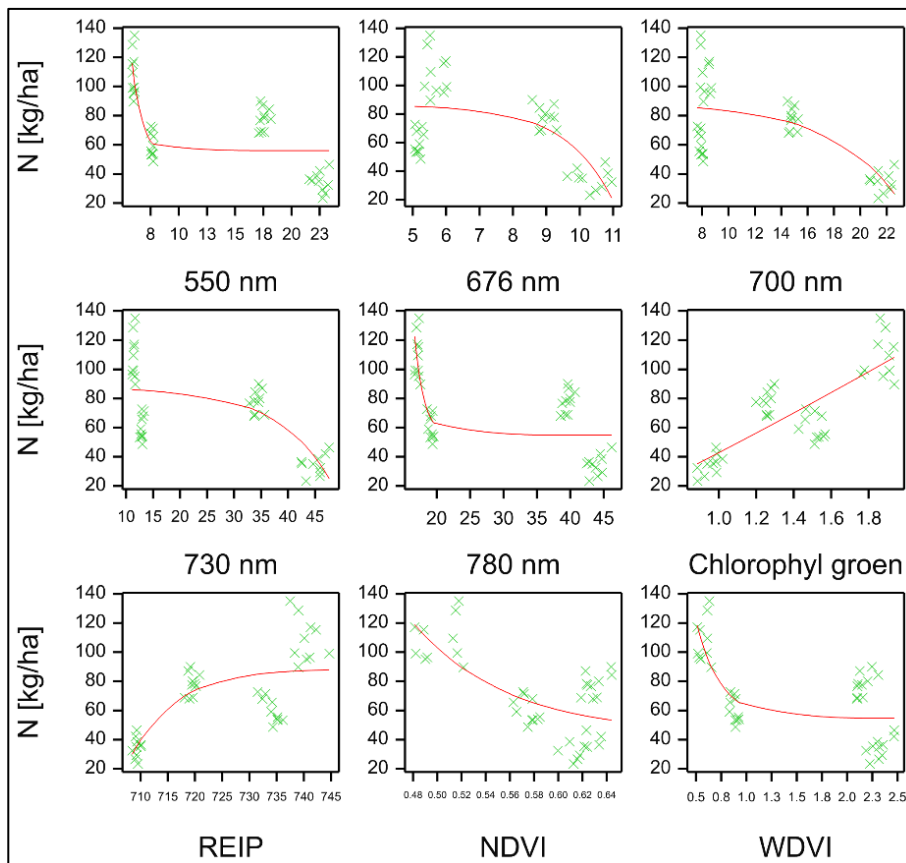
Uit de figuren komt tevens naar voren dat de relaties tussen LAI en Chlorophyl rood, NDRE en NDVI, N in gewas en Chlorophyl groen, en het N-gehalte en de reflectie van 700 nm beter met een lineaire relatie beschreven kunnen worden dan met de exponentiele relatie.



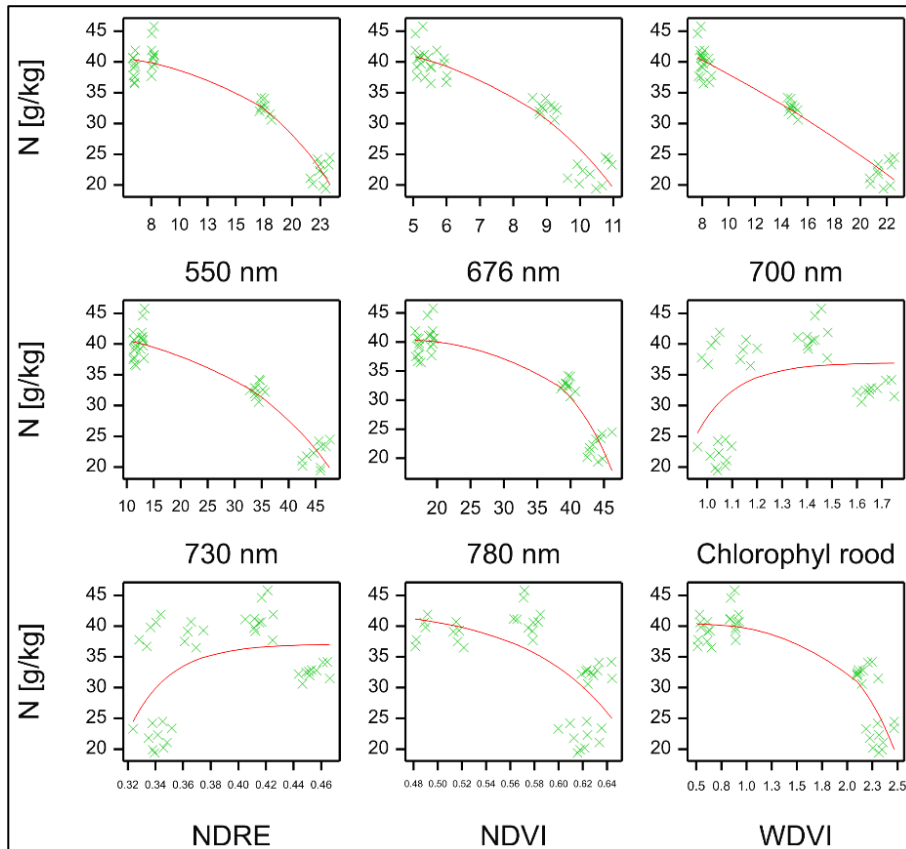
Figuur 5 Overzicht van de gefitte en gemeten relatie tussen de LAI en de verschillende SpectraCam metingen.



Figuur 6 Overzicht van de gefitte en gemeten relatie tussen het versgewicht van de bovengrondse verse biomassa (VBB) en de verschillende SpectraCam metingen.



Figuur 7 Overzicht van de gefitte en gemeten relatie tussen de hoeveelheid N in het gewas en de verschillende SpectraCam metingen voor waarnemingen van 2022.



Figuur 8 Overzicht van de gefitte en gemeten relatie tussen het N-gehalte in het gewas en de verschillende SpectraCam metingen voor waarnemingen van 2022.

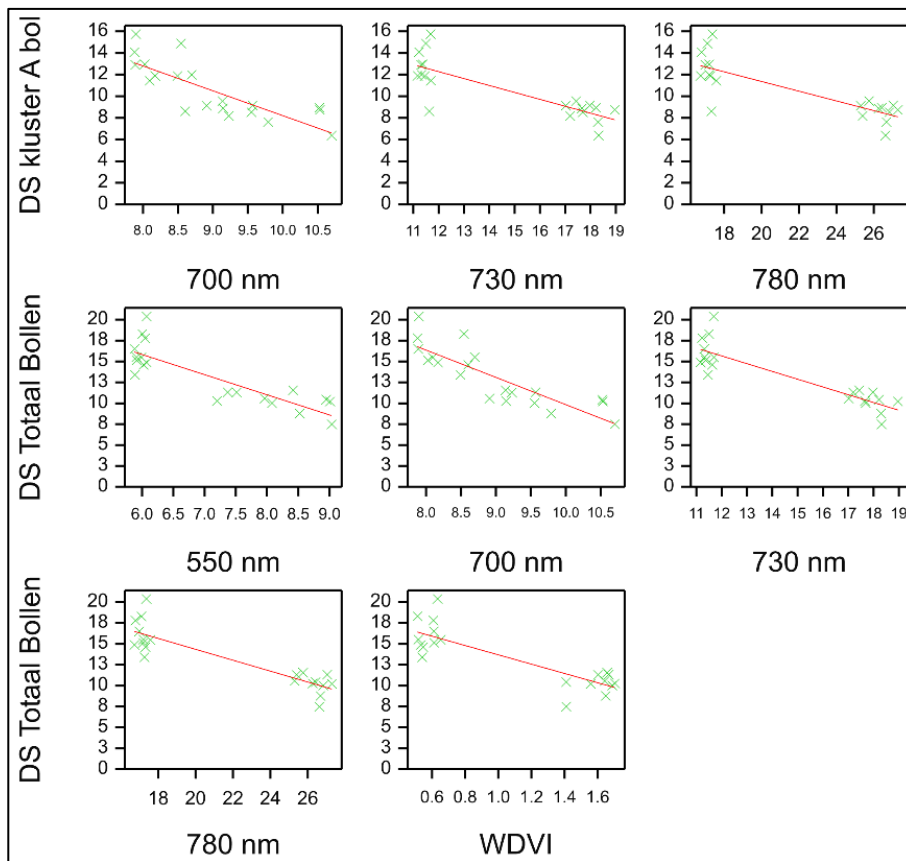
3.5 Correlaties SpectraCam-, biomassametingen en de opbrengst

De resultaten van de correlatieberekeningen voor de SpectraCam metingen en de diverse opbrengstparameters staan in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.5**. Hoewel er veel correlaties gevonden worden met een redelijk hoge correlatiecoëfficiënt moet worden opgemerkt dat dit al snel zo is als er twee puntenwolkjes zijn, d.w.z. als alle metingen van 2021 een wolkje vormen en de punten van 2022 ook een wolkje vormen iets verder op de x-as (zie bijvoorbeeld **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** rechts boven).

Tevens valt op dat de hellingshoek in veel correlaties negatief is, vooral als er een hoge correlatie wordt gevonden (>80%). Dit betekent dat bij een lagere SpectraCam meting een hogere opbrengst wordt gerealiseerd. Dit is tegen de verwachting in, bijvoorbeeld, een hogere WdVI tijdens de bloei betekent meer biomassa die naar de bol kan worden getransporteerd en daardoor naar verwachting een hogere opbrengst zal geven. Dit wordt echter niet door deze waarnemingen ondersteund.

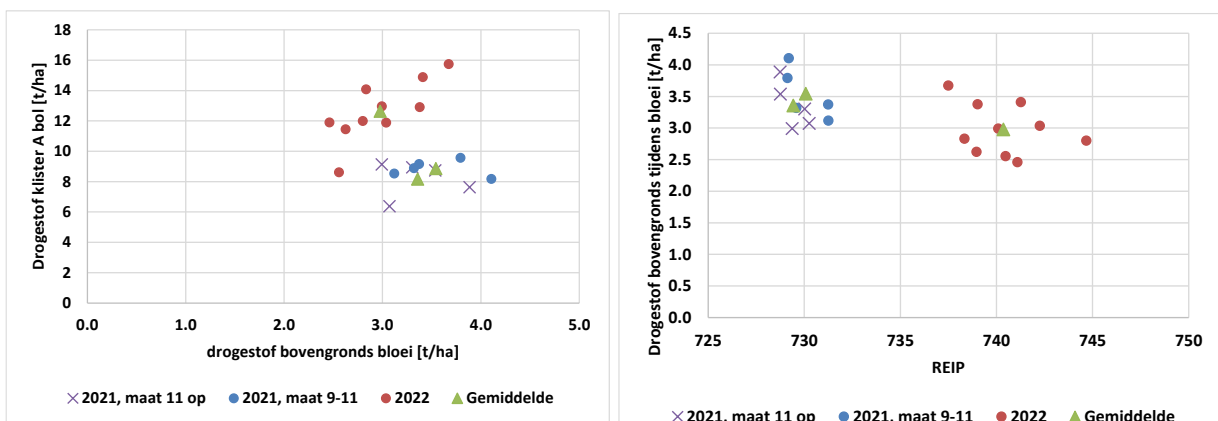
Tabel 5 De correlatiecoëfficiënt van de SpectraCam metingen en de drogestof van de klister A bol, de drogestof van de dochterbol, totale droge stof, de maat van de klister A bol en het aantal dochterbollen en de p-waarde. De vetgedrukte relaties voldoen aan de criteria voor verdere uitwerking.

Parameter	Drogestof klister A bol		Drogestof dochterbol		Total drogestof		Maat klister A bol		# dochterbollen	
	R ²	P	R ²	p	R ²	p	R ²	P	R ²	p
550 nm	-0.781	<0.001	-0.7037	<0.001	-0.852	<0.001	-0.5788	0.0075	-0.5241	0.0177
676 nm	0.218	0.357	0.2292	0.3311	0.2502	0.2873	0.0643	0.7877	0.1343	0.5724
700 nm	-0.803	<0.001	-0.6522	0.0018	-0.8487	<0.001	-0.6736	0.0011	-0.5071	0.0225
730 nm	-0.818	<0.001	-0.7138	<0.001	-0.8837	<0.001	-0.6248	0.0032	-0.5058	0.0229
780 nm	-0.817	<0.001	-0.7165	<0.001	-0.8842	<0.001	-0.6287	0.003	-0.5146	0.0203
Chlorophyl groen	-0.5417	0.0136	-0.4365	0.0543	-0.5713	0.0085	-0.4612	0.0407	-0.2765	0.2379
Chlorophyl rood	-0.6951	<0.001	-0.6413	0.0023	-0.7644	<0.001	-0.4937	0.027	-0.4364	0.0544
NDRE	-0.6969	<0.001	-0.6462	0.0021	-0.7676	<0.001	-0.4961	0.0261	-0.4415	0.0513
NDVI	-0.7338	<0.001	-0.6541	0.0018	-0.7981	<0.001	-0.5274	0.0169	-0.4637	0.0395
REIP	0.7311	<0.001	0.63	0.0029	0.7867	<0.001	0.5264	0.0171	0.4109	0.0719
WDVI	-0.7772	<0.001	-0.6895	<0.001	-0.844	<0.001	-0.5762	0.0078	-0.4888	0.0287

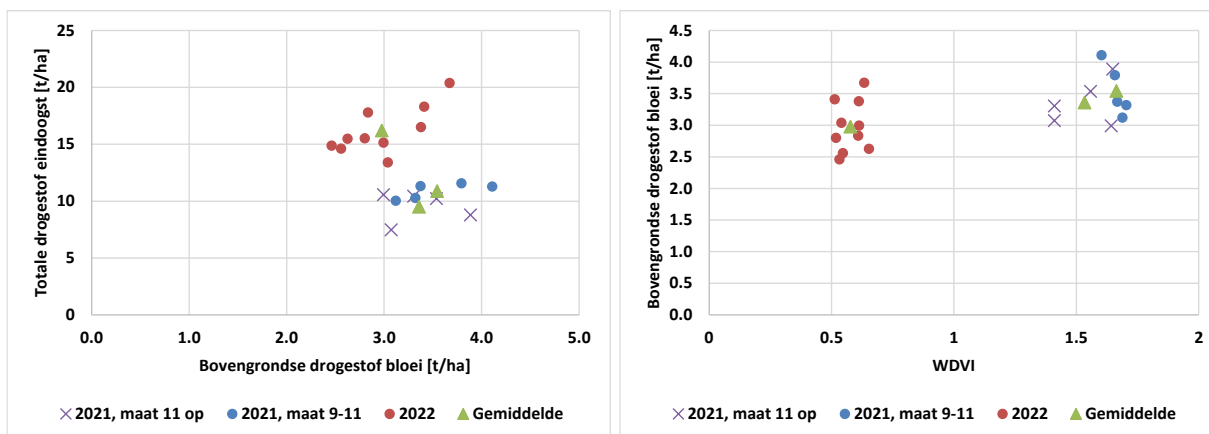


Figuur 9 Overzicht van de gefitte en gemeten relatie tussen de drogestof van de kluster A bol (bovenste rij) en de totale drogestof (overige twee rijen) en de diverse SpectraCam metingen.

De relatie tussen drogestof van de kluster A bol tijdens de bloei en bij oogst staan in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**, waarbij ook de stressfactor REIP is meegenomen. Tijdens de bloei is de totale hoeveelheid bovengrondse drogestof rond de 3 ton/ha en zijn de verschillen tussen de jaren beperkt. De eindopbrengst, d.w.z. de drogestof hoeveelheid van de A bol, is in 2022 aanmerkelijk hoger dan in 2021. Er is een aanzienlijke spreiding maar gemiddeld is de opbrengst in 2022 hoger dan in 2021. De SpectraCam meting laat zien dat het gewas in 2021 een hoger stressniveau heeft tijdens de bloei dan in 2022. De waarden in 2021 liggen rond de 730 terwijl die in 2022 rond de 740 liggen. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat het stressniveau in 2021 dermate hoger was dan in 2022 dat de opbrengst daardoor lager is.

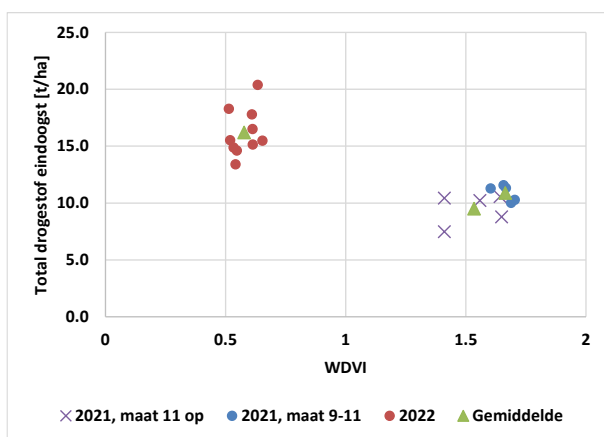


Figuur 10 Relatie tussen bovengrondse drogestof tijdens bloei en de eindopbrengst van de kluster A bollen (links) en tussen de stressfactor REIP en de bovengrondse drogestof tijdens bloei (rechts).



Figuur 11 Relatie tussen bovengrondse drogestof tijdens de bloei en de totale drogestof opbrengst bij de eindooft (links) en tussen de WDWI tijdens de bloei en de bovengrondse drogestof tijdens de bloei (rechts).

Figuur 12 geeft de relatie weer tussen totaal drogestof (ondergronds) eindooft (t/ha) en de WDWI tijdens bloei. Net als in Figuur 11 is het verschil tussen 2021 en 2022 goed zichtbaar.



Figuur 12 Relatie tussen totaal drogestof eindooft (t/ha) en WDWI tijdens bloei.

4 Discussie en conclusies

In deze analyse zijn twee jaar veldmetingen van het de tulp ras *Carola* geanalyseerd. Daarbij is de relatie onderzocht tussen destructieve gewasmetingen tijdens het groeiseizoen en bijbehorende non-destructieve metingen met de SpectraCam.

Vanuit dit onderzoek komen de volgende conclusies naar voren:

- Twee jaar onderzoeksgegevens zijn onvoldoende betrouwbaar om een kalibratie en een validatie van gevonden relaties uit te voeren. Daarom zijn de resultaten van deze twee jaren samengevoegd en zijn alleen relaties berekend.
- De beste relaties tussen de gewas- en SpectraCam metingen werden gevonden voor het N-gehalte en reflectie van 550 nm, 700 nm en de NDVI (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**4).
- De veronderstelde exponentiele relatie tussen de gewas en SpectraCam metingen bleek voor een aantal relaties beter beschreven te kunnen worden met lineaire relatie (LAI en Chlorophyl rood, NDRE en NDVI (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**); N in gewas en Chlorophyl groen (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**); N-gehalte en reflectie 700 nm (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**)).
- De bovengrondse biomassa tijdens de bloei en de bijbehorende SpectraCam metingen zijn geen goede voorspeller voor de eindopbrengst, niet voor de biomassa van de klister A bollen, de totale biomassa, de maat van de klister A bol of het aantal dochterbollen.
- Meetwaarde REIP (stress) rondom bloei kan dienen als indicator voor lagere bol opbrengsten.

In de veldproeven van zowel 2021 als in 2022 is door de gebruiker van de Spectracam opgemerkt dat de meetwaardes sterk varieerde naarmate de rijrichting van de spuit veranderde of de lichtintensiteit van de zon. Daarnaast is gebleken dat bij een hoge onkruiddruk in het veld de meetresultaten van de SpectraCam mogelijk verstoord kunnen worden.

Vanuit dit onderzoek komen de volgende aanbevelingen naar voren:

- Voor het vaststellen van een goede en betrouwbare relatie zijn meerdere proeven nodig. Twee jaar is zelfs voor kalibratie van de relaties erg beperkt.
- Het is aan te bevelen om de relaties tussen het N-gehalte in het gewas en de reflectie bij 550 nm, 700 nm en de NDVI verder te onderzoeken. Een validatie kan bevestigen dat de relatie een goede voorspeller is voor het N-gehalte in het gewas. Hiermee zou de Spectracam mogelijk informatie opleveren voor de teler over de behoefte voor bijbemesting van stikstof.
- Verder verkennen wat de impact is van de lichtintensiteit van de zon op de meetresultaten van de Spectracam.
- Verkennen in welke mate onkruid van invloed is op de meetresultaten van de camera.

Literatuur

Kempenaar, Corné, *et al.*

Op naar precisielandbouw 2.0: eindrapport PPS PL2. 0 2015-2019 topsectorproject AF-14275. No. 921.
Stichting Wageningen Research, Wageningen University & Research, 2019.

Meurs, E. J. J., & Booij, R. (2002).

Stikstofbijbemesting op basis van CropScan: milieukundige en landbouwkundige potentie (No. 171).
Plant Research International.

Uenk, D., Bouman, B. A. M., & Van Kasteren, H. W. J. (1992).

Reflectiemetingen aan landbouwgewassen: handleiding voor het meten van gewasreflectie,
standaardlijnen voor de bepaling van bodembedekking en LAI (No. 156). CABO-DLO.

Uenk, D., Grashoff, C., & Booij, R. (2003).

Stikstofbijbemesting op aardappelen op basis van omgekeerde N-vensters in combinatie met CropScan:
jaarrapport 2002 (No. 266). Plant Research International.

Van Dam, A. M., & Kroon, E. A. C. (2006).

Ontwikkeling stikstofadviezen met innovatieve bemestingsmethoden. N-experiment met tulp 2003-2004
en adviesontwikkeling. PPO Bloembollen.

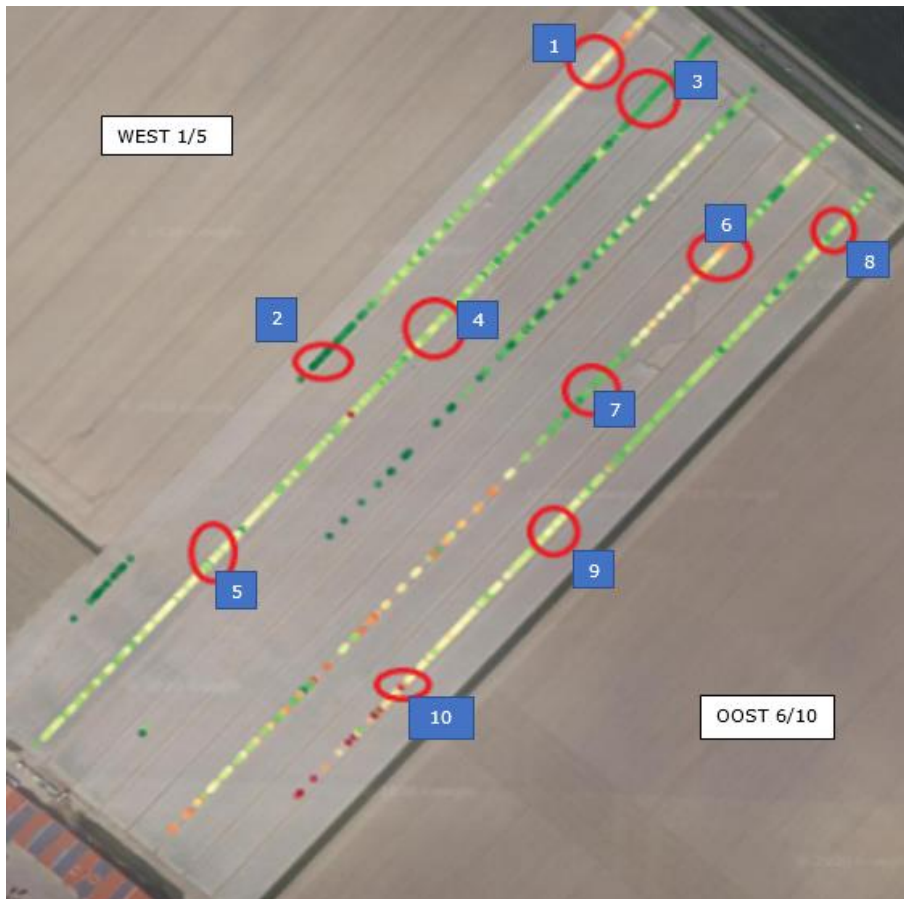
Van Wees, N. S., van Dam, A. M., & de Ruijter, F. J. (2005).

Praktijkproeven bloembollen 2005. Toetsing van geleide bemestingsstrategieën op bollenbedrijven in het
kader van Toetsing Geleide Bemesting, programma 398-1, thema 1.1. 3 (No. 33072430).
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, Sector bloembollen.

Vlaming, E. A. C., & van Dam, A. M. (2003).

Vergelijking van geleide stikstofbemestingssystemen bij tulp 2002-2003. PPO Bloembollen.

Bijlage 1 Bemonsterkaart op basis van verschillen in meetwaardes Spectracam



Bijlage 2 Gewas bemonsteringschema 2021

						Maart				April					Mei					Juni					juli	
wk na opkomst						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
Wk NR						9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
opkomst (ongeveer)						x																				
2 wk na opkomst								x																		
4 wk na opkomst										x																
6 wk na opkomst												x														
8 wk na opkomst (bloei/kopmoment)													x													
10 wk na opkomst															x											
12 wk na opkomst																	x									
14 wk na opkomst																			x							
16 wk na opkomst																									x	
groeifase						gewas groei						bloei kop			gewasg		afsterven									
** kruisjes (x) zijn op basis van metingen 2021																										
* afhankelijk van weer																										

Bijlage 3 Correlatie tabel Bolgewicht x Meetwaarden Spectracam + loofgewicht en blad oppervlakte

Correl (R)		Spoor 1 - centrum	Spoor 1 - Noord	Spoor 2 - Centrum	Spoor 2 - Noord	Spoor 2 - Zuid	Spoor 4 - Centrum	Spoor 4 - Noord	Spoor 5 - Centrum	Spoor 5 - Noord	Spoor 5 - Zuid	Gemiddeld:
loofgewicht (g)	Bladgroen (Chl. Rood)	<u>0,70</u>	<u>-0,34</u>	<u>-0,62</u>	<u>0,61</u>	<u>0,53</u>	<u>-0,60</u>	<u>-0,62</u>	<u>0,58</u>	<u>0,95</u>	<u>0,76</u>	<u>0,20</u>
loofgewicht (g)	Bladgroen (NDRE)	<u>0,61</u>	<u>-0,30</u>	<u>-0,73</u>	<u>0,54</u>	<u>0,41</u>	<u>-0,49</u>	<u>-0,59</u>	<u>0,45</u>	<u>0,97</u>	<u>0,96</u>	<u>0,18</u>
loofgewicht (g)	Biomassa (WDVI)	<u>-0,89</u>	<u>-0,05</u>	<u>0,41</u>	<u>0,96</u>	<u>0,99</u>	<u>0,99</u>	<u>0,91</u>	<u>0,42</u>	<u>0,17</u>	<u>0,21</u>	<u>0,41</u>
loofgewicht (g)	Biomassa (NDVI)	<u>-0,77</u>	<u>-0,09</u>	<u>0,33</u>	<u>0,96</u>	<u>0,75</u>	<u>0,98</u>	<u>0,84</u>	<u>-0,10</u>	<u>0,29</u>	<u>0,28</u>	<u>0,35</u>
bladopp. (cm2)	Bladgroen (Chl. Rood)	<u>0,66</u>	<u>0,46</u>	<u>-0,16</u>	<u>0,46</u>	<u>0,63</u>	<u>-0,67</u>	<u>-0,66</u>	<u>0,59</u>	<u>1,00</u>	<u>0,73</u>	<u>0,30</u>
bladopp. (cm2)	Bladgroen (NDRE)	<u>0,56</u>	<u>0,48</u>	<u>-0,28</u>	<u>0,38</u>	<u>0,53</u>	<u>-0,57</u>	<u>-0,66</u>	<u>0,52</u>	<u>1,00</u>	<u>0,95</u>	<u>0,29</u>
bladopp. (cm2)	Biomassa (WDVI)	<u>-0,90</u>	<u>-0,67</u>	<u>0,64</u>	<u>0,99</u>	<u>0,89</u>	<u>0,97</u>	<u>0,98</u>	<u>0,33</u>	<u>0,28</u>	<u>0,21</u>	<u>0,37</u>
bladopp. (cm2)	Biomassa (NDVI)	<u>-0,84</u>	<u>-0,53</u>	<u>0,58</u>	<u>0,99</u>	<u>0,82</u>	<u>0,97</u>	<u>0,66</u>	<u>-0,20</u>	<u>0,38</u>	<u>0,30</u>	<u>0,31</u>
Correl (R)		Spoor 1 - centrum	Spoor 1 - Noord	Spoor 2 - Centrum	Spoor 2 - Noord	Spoor 2 - Zuid	Spoor 4 - Centrum	Spoor 4 - Noord	Spoor 5 - Centrum	Spoor 5 - Noord	Spoor 5 - Zuid	Gemiddeld:
Bolgewicht (g)	loofgewicht (g)	<u>-0,38</u>	<u>-0,57</u>	<u>0,06</u>	<u>-0,80</u>	<u>-0,85</u>	<u>-0,63</u>	<u>-0,25</u>	<u>-0,63</u>	<u>-0,86</u>	<u>-0,62</u>	<u>-0,55</u>
Bolgewicht (g)	bladopp. (cm2)	<u>-0,45</u>	<u>-0,93</u>	<u>-0,72</u>	<u>-0,78</u>	<u>-0,94</u>	<u>-0,55</u>	<u>-0,47</u>	<u>-0,70</u>	<u>-0,96</u>	<u>-0,68</u>	<u>-0,72</u>
Bolgewicht (g)	Stress (Rededge)	<u>0,38</u>	<u>-0,41</u>	<u>0,45</u>	<u>0,52</u>	<u>0,73</u>	<u>0,60</u>	<u>0,54</u>	<u>-0,92</u>	<u>-0,96</u>	<u>-0,36</u>	<u>0,06</u>
Bolgewicht (g)	Bladgroen (Chl. Rood)	<u>0,37</u>	<u>-0,57</u>	<u>-0,57</u>	<u>-0,48</u>	<u>-0,86</u>	<u>-0,25</u>	<u>-0,02</u>	<u>-0,79</u>	<u>-0,97</u>	<u>-0,01</u>	<u>-0,41</u>
Bolgewicht (g)	Bladgroen (NDRE)	<u>0,49</u>	<u>-0,60</u>	<u>-0,45</u>	<u>-0,44</u>	<u>-0,80</u>	<u>-0,37</u>	<u>0,05</u>	<u>-0,98</u>	<u>-0,96</u>	<u>-0,41</u>	<u>-0,45</u>
Bolgewicht (g)	Bladgroen (Chl. Groen)	<u>-0,50</u>	<u>0,33</u>	<u>-0,35</u>	<u>-0,23</u>	<u>-0,70</u>	<u>0,16</u>	<u>0,12</u>	<u>-0,81</u>	<u>-0,44</u>	<u>-0,67</u>	<u>-0,31</u>
Bolgewicht (g)	Biomassa (WDVI)	<u>0,71</u>	<u>0,84</u>	<u>-0,83</u>	<u>-0,69</u>	<u>-0,84</u>	<u>-0,72</u>	<u>-0,47</u>	<u>-0,01</u>	<u>-0,12</u>	<u>0,49</u>	<u>-0,16</u>
Bolgewicht (g)	Biomassa (NDVI)	<u>0,81</u>	<u>0,79</u>	<u>-0,85</u>	<u>-0,71</u>	<u>-0,96</u>	<u>-0,55</u>	<u>0,21</u>	<u>0,31</u>	<u>-0,21</u>	<u>0,36</u>	<u>-0,08</u>

Bijlage 4 De meetgegevens van de SpectraCam gebruikt in de analyse

Jaar	Datum	Dagnr	550 nm		676 nm		700 nm		730 nm		700 nm		Chlorophyl groen		Chlorophyl rood		NDRE		NDVI		REIP		WDVI	
			gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev	gem	stdev
2021	25-Mar	84	15.9	3.8	5.0	0.6	12.3	2.3	29.8	5.6	47.9	7.3	3.0	5.7	3.5	3.9	0.6	0.1	0.8	0.0	725.7	61.4	3.8	0.6
	2-Apr	92	4.6	0.5	4.0	0.4	7.6	0.5	7.1	0.4	11.2	0.6	1.4	0.2	0.5	0.1	0.2	0.0	0.5	0.0	703.9	316.1	0.3	0.1
	9-Apr	99	7.8	0.4	5.1	0.3	11.6	1.8	14.3	0.8	23.1	1.3	1.9	0.2	1.0	0.3	0.3	0.1	0.6	0.0	744.8	40.7	1.3	0.1
	15-Apr	105	11.4	0.8	11.2	0.7	18.2	1.1	32.9	2.8	44.1	2.3	2.9	0.2	1.4	0.1	0.4	0.0	0.6	0.0	726.0	3.2	2.2	0.2
	20-Apr	110	13.3	0.7	9.4	1.9	18.2	1.4	35.1	13.6	50.8	13.8	2.8	1.0	1.8	0.7	0.5	0.1	0.7	0.0	739.7	19.7	3.2	1.0
	25-Apr	115	13.1	1.7	6.9	0.5	12.6	1.0	23.6	2.2	33.9	2.1	1.6	0.2	1.7	0.1	0.5	0.0	0.7	0.0	728.7	3.2	2.0	0.2
	28-Apr	118	11.1	1.6	5.5	0.7	10.7	1.3	20.9	1.8	29.4	2.5	1.7	0.2	1.8	0.2	0.5	0.0	0.7	0.0	726.5	2.0	1.8	0.1
	1-May	121	13.5	3.9	5.7	0.6	11.4	1.6	27.9	9.4	35.5	9.6	1.7	0.1	2.1	0.5	0.5	0.1	0.7	0.0	723.5	2.9	2.4	0.9
	7-May	127	6.0	0.5	4.4	0.4	8.2	0.7	15.4	1.1	20.6	1.2	2.4	0.2	1.5	0.1	0.4	0.0	0.6	0.0	724.2	2.2	1.2	0.1
	11-May	131	8.1	0.7	5.1	0.7	9.6	0.7	17.8	0.9	26.4	1.1	2.3	0.3	1.7	0.2	0.5	0.0	0.7	0.0	729.8	1.8	1.6	0.1
	14-May	134	12.5	1.5	4.2	0.6	13.6	1.0	20.4	2.6	38.1	3.0	2.1	0.2	1.8	0.2	0.5	0.0	0.8	0.0	748.2	12.3	3.0	0.3
	18-May	138	11.4	1.8	4.3	0.5	12.4	1.4	20.3	3.6	35.0	3.0	2.1	0.3	1.9	0.4	0.5	0.1	0.8	0.0	748.3	30.8	2.6	0.3
	22-May	142	6.2	0.8	4.0	0.6	9.3	1.7	14.7	1.3	24.6	2.3	3.0	0.5	1.7	0.4	0.5	0.1	0.7	0.0	737.8	4.1	1.7	0.2
	29-May	149	17.1	1.5	5.4	0.8	15.3	2.1	29.4	2.7	43.9	3.0	1.6	0.2	1.9	0.4	0.5	0.1	0.8	0.0	727.3	4.9	3.3	0.3
	4-Jun	155	12.7	1.4	9.0	2.1	18.1	2.4	35.0	2.0	39.0	1.8	2.1	0.4	1.2	0.4	0.4	0.1	0.6	0.1	713.5	2.7	2.1	0.6
	8-Jun	159	16.7	1.8	9.0	2.0	19.1	2.5	40.8	5.1	47.3	3.3	1.9	0.3	1.5	0.3	0.4	0.1	0.7	0.1	716.9	2.2	2.9	0.4
	12-Jun	163	23.9	1.1	8.4	0.8	20.4	1.0	36.8	2.5	49.6	2.3	1.1	0.1	1.4	0.1	0.4	0.0	0.7	0.0	721.2	2.5	3.3	0.2
2022	15-Apr	105	7.6	0.1	5.2	0.1	7.9	0.1	12.9	0.2	19.2	0.3	1.5	0.0	1.4	0.0	0.4	0.0	0.6	0.0	734.1	1.3	0.9	0.0
	30-Apr	120	6.0	0.1	5.7	0.2	8.2	0.3	11.4	0.2	17.2	0.2	1.9	0.1	1.1	0.1	0.4	0.0	0.5	0.0	740.4	1.9	0.6	0.0
	12-May	132	17.5	0.3	9.0	0.2	14.8	0.2	34.3	0.7	39.6	0.6	1.3	0.0	1.7	0.0	0.5	0.0	0.6	0.0	719.5	0.7	2.2	0.1
	31-May	151	13.0	0.3	6.9	0.3	12.9	0.4	30.6	0.6	35.8	0.8	1.8	0.1	1.8	0.1	0.5	0.0	0.7	0.0	719.1	1.1	2.2	0.1
	7-Jun	158	17.0	1.5	8.7	0.3	16.6	0.5	32.4	3.0	38.9	1.5	1.3	0.1	1.3	0.0	0.4	0.0	0.6	0.0	718.6	1.8	2.1	0.1
	23-Jun	174	22.6	0.5	10.4	0.4	21.7	0.6	45.0	1.7	43.8	1.1	0.9	0.1	1.0	0.0	0.3	0.0	0.6	0.0	709.3	0.5	2.3	0.1
	2-Jul	183	8.7	1.3	7.1	0.9	12.1	1.4	23.6	3.7	28.2	2.2	2.3	0.3	1.4	0.2	0.4	0.0	0.6	0.0	720.1	4.1	1.4	0.1

Bijlage 5 De correlatiecoëfficiënt van de SpectraCam metingen en het drooggewicht van de verschillende bovengrondse gewasdelen en het totale bovengrondse drooggewicht en de p-waarde voor 2021 en 2022

Parameter	stengel		blad		bloem		Totaal	
	R ²	p	R ²	p	R ²	p	R ²	P
550 nm	0.2745	0.006	0.2745	0.006	-0.6489	<0.001	0.0721	0.4781
676 nm	0.0041	0.9681	0.0041	0.9681	-0.4162	<0.001	-0.1484	0.1426
700 nm	0.109	0.2827	0.109	0.2827	-0.5967	<0.001	-0.0772	0.4474
730 nm	0.2526	0.0117	0.2526	0.0117	-0.5879	<0.001	0.0479	0.638
780 nm	0.3881	<0.001	0.3881	<0.001	-0.5456	<0.001	0.1491	0.1406
Chlorophyl groen	-0.1441	0.1548	0.1293	0.2023	0.4331	<0.001	0.1702	0.0922
Chlorophyl rood	0.4971	<0.001	0.7511	<0.001	0.0593	0.5602	0.6065	<0.001
NDRE	0.4991	<0.001	0.7587	<0.001	0.0912	0.3691	0.6229	<0.001
NDVI	0.5599	<0.001	0.6493	<0.001	-0.2102	0.3691	0.4791	<0.001
REIP	-0.0931	0.3594	-0.0472	0.6428	0.2219	0.0273	0.0205	0.8407
WDVI	0.4984	<0.001	0.5126	<0.001	-0.5066	<0.001	0.2754	0.0058

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



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw - Bloembollen
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
F +31 (0) 10 522 51 93
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1232

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.