

ONDERSTEUNEN NEAR SENSING TECHNIEKEN HET BEMESTINGSADVIES BIJ SIERTEELT?

BEGONIA & CHRYSANT

Bertjan Olivier

Stamnummer: 01401364

Promotoren: Prof. Dr. ir. Marie-Christine Van Labeke & Ir. Jolien Bracke

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad in Master of Science in de
bio-ingenieurswetenschappen: landbouwkunde

Academiejaar: 2018 - 2019



Deze pagina is niet beschikbaar omdat ze persoonsgegevens bevat.
Universiteitsbibliotheek Gent, 2021.

This page is not available because it contains personal information.
Ghent University, Library, 2021.

DANKWOORD

Met het schrijven van deze masterproef loopt mijn opleiding in de bio-ingenieurswetenschappen op zijn einde. Ongeveer een jaar geleden koos ik voor dit onderwerp. Het traject dat ik sindsdien heb doorlopen, had ik nooit volbracht zonder een aantal personen die ik hierbij wil bedanken.

Eerst en vooral wil ik graag mijn twee promotors, prof. dr. ir. Marie-Christine Van Labeke en ir. Jolien Bracke bedanken om mij gedurende het laatste jaar te begeleiden. Bij hen kon ik altijd terecht met mijn vragen. Met een kritische blik stuurden ze mij bij waar nodig en dankzij hun ervaring konden ze me steeds voorzien van goed advies.

Het praktische deel van deze proef vond plaats aan het Proefcentrum voor de Sierteelt gedurende de zomer van 2018. Daar kreeg ik hulp en uitleg van Lore Schoeters bij het uitvoeren van de metingen. Bij deze wil ik dan ook Lore Schoeters en alle andere werknemers van het PCS die betrokken waren bij dit onderzoek bedanken voor hun werk.

Ook wil ik graag mijn grootouders bedanken. Het waren zij die me al van jongs af aan de interesse en kennis over planten doorgaven. In het bijzonder mijn opa die mij zoveel wijsheid, kennis en ervaring bijbracht. Al van voor ik een boek kon lezen, stond ik met hem te snoeien in de tuin, herinneringen voor het leven.

Daarna zou ik graag mijn ouders bedanken om mij altijd te steunen en te stimuleren om harder en beter te studeren. Gemiddeld was nooit goed genoeg en het is dankzij hen dat ik straks deze opleiding zal afronden. Ook mijn broer wil ik bedanken voor zijn steun en interesse in wat ik doe. Ik besef maar al te goed dat hij opkijkt naar zijn grote broer, maar straks zal ik naar hem opkijken als hij begint aan zijn avontuur aan de campus Coupure!

Tenslotte rest er mij nog één iemand in het bijzonder. Mijn vriendin, Anouk, wil ik bedanken voor de steun, het eindeloze geduld, het luisterende oor... Ze stond altijd voor me klaar en hielp me waar nodig.

INHOUDSOPGAVE

Dankwoord	i
Inhoudsopgave	iv
Lijst van afkortingen	v
samenvatting	vii
1 Inleiding	1
2 Literatuurstudie	3
2.1 De sierteeltsector in België & Vlaanderen	3
2.1.1 Begonia x tuberhybrida	5
2.1.2 Chrysanthemum morifolium	7
2.2 Bemestingsproblematiek	8
2.3 Niet-destructieve meettechnieken	13
2.3.1 Algemeen principe	14
2.3.2 Sensoren op bladniveau	16
2.3.3 Sensoren op gewasniveau	19
3 Materiaal & Methoden	27
3.1 Plantmateriaal	27
3.2 Proefopzet	27
3.3 Klimaat en bodeminformatie	28
3.4 Sensormetingen	29
3.4.1 Metingen op bladniveau	29
3.4.2 Metingen op gewasniveau	30
3.5 Labo-analyses	31
3.5.1 Chlorofylbepaling	31
3.5.2 Stikstofanalyse	32
3.6 Statistische verwerking	33

4 Resultaten	35
4.1 Metingen op bladniveau	35
4.1.1 Knolbegonia	35
4.1.2 Chrysant	40
4.2 Metingen op gewasniveau	44
4.2.1 Knolbegonia	44
4.2.2 Chrysant	54
5 Discussie	65
5.1 Metingen op bladniveau	66
5.2 Metingen op gewasniveau	68
5.2.1 NDVI	68
5.2.2 Overige vegetatie-indices	69
6 Conclusie	73
Bibliografie	74

LIJST VAN AFKORTINGEN

AVBS	<i>Algemeen Verbond van Belgische Siertelers</i>
ChINDI	<i>Chlorophyll Normalized Difference Index</i>
DCI	<i>Derivative Chlorophyll Index</i>
KMI	<i>Koninklijk Meteorologisch Instituut van België</i>
LAI	<i>Leaf Area Index</i>
LMA	<i>Leaf Mass per Area</i>
MAP	<i>Mestactieplan</i>
MCARI	<i>Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index</i>
NBI	<i>Nitrogen Balance Index</i>
NPCI	<i>Normalized Pigment Chlorophyll Index</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	<i>Nabij-infrarood licht</i>
OSAVI	<i>Optimized Soil Adjusted Vegetation Index</i>
PCC	<i>Pearson's Correlatie Coëfficiënt</i>
PCS	<i>Proefcentrum voor Sierteelt</i>
SR	<i>Simple Ratio</i>
SRPI	<i>Simple Ratio Pigment Index</i>
RE	<i>Red Edge</i>
REIP	<i>Red Edge Inflection Point</i>
RENDVI	<i>Red Edge Normalized Difference Vegetation Index</i>
TCARI	<i>Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index</i>
UV	<i>Ultraviolet</i>

SAMENVATTING

In deze masterproef werd onderzocht of niet-destructieve meettechnieken het bemestingsadvies in de sierteelt kunnen ondersteunen. Met deze technieken werd geprobeerd om bepaalde parameters gerelateerd aan de gewasgroei zoals biomassa, stikstofgehalte en chlorofylgehalte op te volgen gedurende het groeiseizoen. Het proefwerk werd uitgevoerd op twee verschillende teelten: knolbegonia (*Begonia x tuberhybrida* Voss) en potchrysan (*Chrysanthemum morifolium*). Van elk soort werden twee cultivars in het onderzoek opgenomen: Dubbel Roos en Pendula voor knolbegonia, Maya en Orlando voor potchrysan.

Drie sensoren werden gebruikt, één op bladniveau en twee op gewasniveau. De Dualex Scientific+ berekende een index voor het chlorofyl- en flavonolgehalte op bladniveau. Daarnaast werd de ratio van beide pigmentindices, de NBI berekend. De GreenSeeker berekende de NDVI en de Apogee SS-110 mat op continue wijze de reflectie van het gewas op tussen 340 en 800 nm. Hiermee werden een tiental vegetatie-indices berekend. Tegelijkertijd werden zowel bladstalen als volledige planten bemonsterd om op destructieve wijze het chlorofyl- en stikstofgehalte, bladoppervlakte, versgewicht en drooggewicht te bepalen. Dit liet toe om verbanden tussen de destructieve en niet-destructieve metingen te onderzoeken, wat dan tijdens het groeiseizoen snelle schattingen op basis van niet-destructieve metingen zou toelaten. Er werden significante lineaire relaties gevonden tussen de indices bepaald met de Dualex op bladniveau en het stikstofgehalte (%) in de bladeren, dit voor zowel begonia als chrysan. De beste voorspelling van het stikstofgehalte in de bladeren vond plaats door de bepaling van de NBI en de LMA-gecorrigeerde chlorofyl index. Dit toont aan dat de Dualex-meter een bruikbaar instrument is voor het bepalen van het stikstofgehalte in de bladeren bij chrysan en knolbegonia. Met de GreenSeeker werden bij beide gewassen significante lineaire verbanden gevonden tussen de NDVI en het versgewicht van de volledige planten. Enkel bij chrysan werden ook significante lineaire regressies gevonden met het stikstofgehalte (%) van de volledige planten. De GreenSeeker kan dus gebruikt worden voor het inschatten van biomassa bij beide gewassen, maar de bruikbaarheid bij het schatten van het stikstofgehalte (%) is soortafhankelijk.

Tot slot leverde de Apogee sensor vele vegetatie-indices die goed correleerden met het versgewicht of met het stikstofgehalte van de planten. Welke index de allerbeste was, was volledig soortafhankelijk. Enkele interessante indices bleken de NDVI, NPCI, OSAVI, TCARI, SR, REIP en DCI.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

Landbouw was door de eeuwen heen steeds in verandering. Enorme doorbraken op mechanisch en agronomisch vlak in de vorige eeuw zorgden voor een ongekennde groei (FAO, 2019). De *green revolution* in de jaren '60 van de vorige eeuw veranderde de landbouwsector voorgoed. Sindsdien staan grootschaligheid, homogeniteit en hoge productie centraal. Hoge inputs aan bemesting, gewasbescherming en irrigatie zorgen voor hoge outputs van landbouwproducten. Deze hoge inputs brengen echter ook problemen met zich mee. Zo zijn de stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater te hoog, wordt er soms onvoorzichtig omgesprongen met gewasbeschermingsmiddelen en neemt de biodiversiteit in hoog tempo af. Deze intensivering van de landbouw heeft de nauwkeurigheid waarmee planten worden bemest en verzorgd, veranderd van plantniveau naar perceelsniveau en zelfs naar bedrijfsniveau.

Vandaag herontdekt de sector dat niet elke plant exact hetzelfde is, dat niet elke plant dezelfde noden heeft. Het fenotype van planten verandert op een perceel dat varieert in hellingspercentage, vochtigheid, ziektegevoeligheid en bodemsamenstelling. Niet elke plant heeft de maximale bemesting nodig en enkel aangetaste planten hebben nood aan een gewasbeschermingsmiddel. Dit stimuleerde de ontwikkeling van technieken die enorm veel data verzamelen (via GPS, sensoren, etc) en dit via slimme software omzetten in adviezen die landbouwers ondersteunen in hun beslissingen, ook wel precisielandbouw genoemd. Na een moeizame start in de jaren '90 vindt deze innovatie langzamerhand zijn plek in de sector. (EIP-AGRI, 2015; Van Bogaert, Janssens & Maertens, 2018).

Bij technologische innovaties zijn het steeds grote teelten zoals tarwe, maïs en aardappelen die het eerst aan de beurt zijn. Deze gewassen kunnen wereldwijd teruggevonden worden op een bijna uniforme teeltwijze. Kleinere teelten zoals sierteelt worden vaak genegeerd. Dergelijke teelten zijn relatief kleinschalig, gekenmerkt door vele soorten en cultivars en zijn dikwijls regiogebonden. Grote bedrijven zullen niet snel investeren in nieuwe technieken voor deze nicheteelten. Nochtans vragen dergelijke gewassen uit de tuinbouwsector veel inputs voor het telen van kwaliteitsvolle producten. Daarom is onderzoek naar nieuwe technieken voor deze kleinere teelten van essentieel belang voor de vitaliteit en de duurzaamheid van de sector. Deze masterproef draagt hieraan bij door te onderzoeken welke technieken een meer plantaafhankelijke bemesting kunnen ondersteunen bij de teelt van begonia en chrysant.



HOOFDSTUK 2

LITERATUURSTUDIE

2.1 De sierteeltsector in België & Vlaanderen

De sierteeltsector is een enorm diverse sector die alle teelten van niet-eetbare landbouwproducten omvat. Sierteelt, kan dus snijbloemen of perkplanten zijn, maar sierteelt is evenzeer de productie van kamerplanten zoals *Phalaenopsis*, bloembollen en -knollen, bloemzaden, azalea's of potchrysanen. Ook de zeer uiteenlopende teelt in open lucht van bomen en heesters behoort tot de sierteeltsector (Platteau, Lambrechts, Roels & Van Bogaert, 2018).

In 2017 was het Belgische landbouwareaal 1.329.153 hectare waarvan 6.546 hectare bestemd voor sierteelt. Het Vlaamse landbouwareaal was in 2017 goed voor 610.971 hectare waarvan 5.862 hectare werd gebruikt door de sierteeltsector (Figuur 2.1). Sierteelt is dus vooral een Vlaams gegeven, daar bijna 90% van het areaal zich in Vlaanderen bevindt (Platteau et al., 2018; Statbel, 2018; VLAM, 2018c). In 2017 waren er 1004 sierteeltbedrijven in Vlaanderen waarvan er 679 bedrijven sierteelt als hoofdactiviteit hebben. Dit is ongeveer 4% van alle Vlaamse landbouwbedrijven. Het gemiddeld areaal van een sierteeltbedrijf is 5,84 hectare (Platteau et al., 2018; VLAM, 2018a).

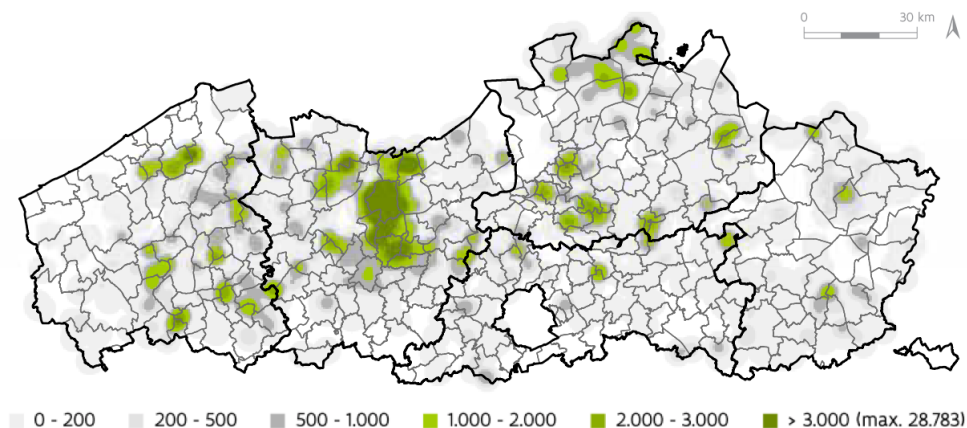


Figuur 2.1: Evolutie van het Vlaamse sierteeltareaal (ha), 2007-2017 (Platteau et al., 2018)

Sierteeltbedrijven liggen vrij verspreid over Vlaanderen, maar Oost-Vlaanderen is toch duidelijk de sierteeltprovincie (Figuur 2.2). In de streek rond Lochristi en Wetteren bevinden zich de meeste sierteeltbedrijven. Rond Lochristi worden hoofdzakelijk potplanten geteeld

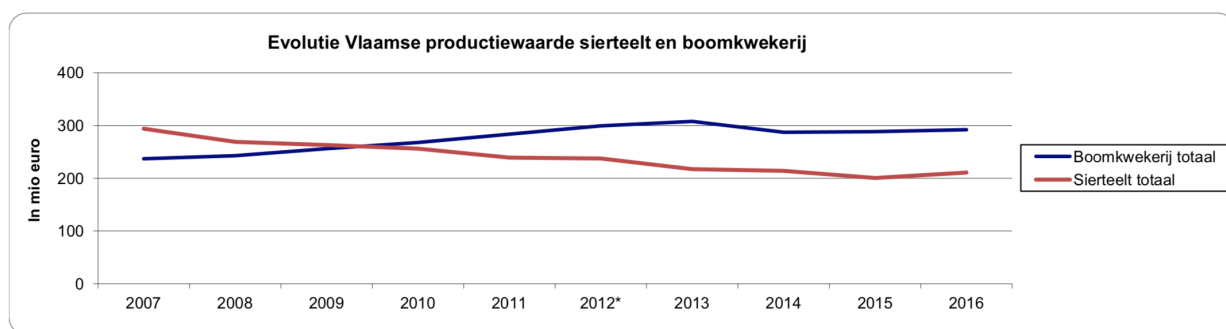
2.1. DE SIERTEELTSECTOR IN BELGIË & VLAANDEREN

met azalea als bekendste voorbeeld. Zo vindt ook de teelt van knolbegonia voornamelijk plaats in Destelbergen, Laarne en Lochristi. De helft van de productie van potchrysanthen vindt daarentegen plaats in West-Vlaanderen (Cambien, 2018). In de regio rond Wetteren, Oosterzele, Laarne, Wichelen en Lede zijn sierbomen de belangrijkste teelt. Richtig Brussel kunnen de laatste bedrijven van de ooit bloeiende snijbloemensector teruggevonden worden. Tot slot bevindt de bosboomteelt zich vooral in de streek van Maldegem, Waarschoot, Wetteren en Evergem (Platteau et al., 2018; Plattelandswijzer, 2005).



Figuur 2.2: Intensiteitskaarten van de sierteeltsector, euro standaardoutput per ha, 2017 (Platteau et al., 2018)

In 2016 behaalde de Vlaamse sierteelt en boomkwekerij een totale productiewaarde van 503 miljoen euro. Dat is goed voor 31% van de Vlaamse tuinbouw en 9% van de productiewaarde van de volledige Vlaamse landbouwsector. Gedurende de laatste jaren bleef de productiewaarde vrij constant (Figuur 2.3) (Platteau et al., 2018). Voor sierteelt realiseert België een positief handelssaldo van 148 miljoen euro. Daarmee staat België binnen Europa op de 3de plaats na Nederland en Denemarken. Dit maakt van België een zeer belangrijk, exportgericht land op de Europese markt. De sierteeltproducten worden vooral geëxporteerd naar de buurlanden: Frankrijk (43%), Nederland (transitland) (31%), het Verenigd Koninkrijk (10%) en Duitsland (4%). Export buiten de EU is nog steeds vrij beperkt (5%) (Boerenbond, 2016; VLAM, 2018b).



Figuur 2.3: Evolutie Vlaamse productiewaarde sierteelt en boomkwekerij (miljoen euro) in de periode 2007-2016 (VLAM, 2018d)

2.1.1 *Begonia x tuberhybrida*

Het geslacht *Begonia* behoort tot de familie van de *Begoniaceae* die nauw verwant is met de families van de *Cucurbitaceae*, *Datisceae* en *Tetramelaceae*. Binnen de *Begoniaceae* zijn er slechts twee genera beschreven: *Begonia* en *Hillebrandia* (Dewitte, 2010).

In het wild komen begonia's voor in vochtige, warme, bosrijke omgevingen in (sub)tropische regio's op alle continenten behalve Australië. Vooral de Zuid-Amerikaanse soorten zijn erg divers. Er zijn meer dan 1900 soorten bekend, variërend van vaste planten van enkele centimeters tot wel 3 meter hoge struiken (Royal Botanic Garden Edinburgh, 2019). Een grote groep begonia's wordt als kamerplant gehouden. Sommige zijn geliefd voor het uitzonderlijke blad of voor de speciale bloemen, enkele voor beide. Begonia's bezitten meestal brede, gewoonlijk asymmetrische bladeren die vrij breekbaar en wasachtig aanvoelen (Figuur 2.4). De zeer kleurrijke bloemen hebben sepalen, maar geen petalen. De plant is eenhuizig met eenslachtige, mannelijke en vrouwelijke bloemen die gescheiden op dezelfde plant voorkomen. Op de mannelijke bloem zijn talrijke meeldraden terug te vinden terwijl de vrouwelijke bloemen zich onderscheiden door een groot vruchtbeginsel met twee tot vier vertakte of gedraaide stigma's. Bij de meeste soorten is de vrucht een gevleugelde capsule met talrijke minuscule zaadjes.



Figuur 2.4: Voorbeeld van het asymmetrisch blad bij begonia (*Pendula*)

In 1979 werden begonia's door Haegeman verdeeld in zes verschillende groepen, onder andere op basis van groeiwijze en soort wortelgestel. (I) De knolbegonia's (*Begonia x tuberhybrida* Voss) zijn hybriden ontstaan uit verschillende soorten begonia's uit de Andes. *B. boliviensis* speelde een belangrijke rol bij het veredelen van de hybride knolbegonia's. Deze planten dragen in de zomer grote, opvallende, vaak gevulde bloemen om daarna in de winter volledig af te sterven tot op de knol. (II) De Lorraine begonia (*B. x cheimanthia* Everett) is het resultaat van een kruising tussen de winterbloeiende *B. socotrana* en de semi-knolvormende *B. dregei*. De cultivar kreeg de naam 'Gloire de Lorraine', vandaar de

groepsnaam. Deze begonia bloeit vroeg in de winter waardoor ze in de volksmond ook wel kerstbegonia wordt genoemd. De plant bloeit uitbundig met vele witte of roze bloempjes die bijna het volledige bladoppervlak bedekken. (III) De begonia Elatior-hybriden (*B. x hiemalis*) zijn ontstaan uit een kruising van de zomerbloeiende knolbegonia's en de winterbloeiende *B. socotrana*. Hiemalis betekent uit de winter, deze begonia's bloeien dan ook typisch in de herfst of winter. De bloei is zeer uitbundig met typisch kleinere bloemen dan de knolbegonia's. De stengels zijn kort en sappig. (IV) De Semperflorens begonia's (*B. semperflorens cultorum*) zijn een kruising van *B. semperflorens* en *B. schmidtiana*. In de Verenigde Staten worden ze ook wel *Wax begonia's* genoemd terwijl ze in Europa *Semperflorens gracilis* of waterbegonia genoemd worden. Het zijn vrij compacte planten met een dichte en vertakte groeiwijze. Ze dragen vele rode, roze of witte bloemetjes. (V) Begonia's met grote, kleurrijke bladeren worden voornamelijk vertegenwoordigd door *B. rex cultorum*, *B. masoniana* cultivars en hybriden van andere Mexicaanse soorten. (VI) De overige begonia's die in geen van bovenstaande groepen vallen (Gordon, 2004; Hvoslef-Eide & Munster, 2006).

De grote, heterogene groep van knolbegonia's (*Begonia x tuberhybrida*) ontstond door het inkruisen van verschillende wilde knolbegonia's. Door het vele kruisen en terugkruisen werd de groep al snel zeer divers en complex (Hvoslef-Eide & Munster, 2006). Rechtopstaande soorten zijn zeer geschikt voor borders en bloembakken. Hiertoe behoren onder andere de dubbelbloemige begonia's (Grandiflora's), de Fimbriata's, de Picotees (tweekleurige bloem) en de kleinbloemige begonia's (Multiflora's). De hangende soorten zijn ideaal om in hangpotten of vazen te zetten en om vensterbanken te decoreren. Deze worden ook Pendula genoemd. Tot deze soorten behoren onder meer de grootbloemige, hangende begonia's (Pendula- Cascade) en de gewone, kleinbloemige Pendula.

De begoniateelt is een vrij eenvoudige, éénjarige teelt. Van eind januari tot begin maart wordt er in trays gezaaid. Deze worden in een serre geplaatst van 20 °C, soms onder plastic om een hoge luchtvochtigheid te verzekeren. Tegen eind april worden de zaailingen, meestal met een robot, verspeend in perspotten waarna ze de tijd krijgen om verder te groeien in de serre. Dikwijls wordt er pas in de tweede helft van mei gestart met het uitplanten in volle grond daar begonia's vorstgevoelig zijn. Voor het planten wordt de bodem gefreesd waarna een machine putjes boort en een NPK-bemesting toedient. Er wordt geplant gedurende een zestal weken. De machine trekt ook een rol met doek mee om de jonge plantjes onmiddellijk af te dekken, waardoor de overgang vanuit de serre naar de felle zon vlot verloopt.

De oogstwerkzaamheden vinden plaats in de tweede helft van oktober. De geoogste knollen worden gedroogd, gekuist en gesorteerd op maat in de loop van de winter. Rond kerst worden ze uiteindelijk afgeleverd aan de handelaar-exporteur. Het eindproduct voor de teler is dus de knol. Zijn inkomen wordt bepaald door het aantal geproduceerde knollen en door de grootte ervan (Boerenbond, 2015; Landelijke Gilden, 2017; Plattelandswijzer, 2005).

De begoniateelt gebeurt bij voorkeur in een goed doorlatende, lichte bodem. De zandstreek

is dus een ideaal gebied voor de knolbegonia. Bij het oogsten is een gemakkelijk te bewerken grond zeer belangrijk. Begonia's kunnen tegen direct zonlicht, maar verdragen geen droge grond. Ze moeten dan ook heel regelmatig beregend worden. Het liefst bevindt de plant zich op een windstille plek in de halfschaduw.

2.1.2 *Chrysanthemum morifolium*

Chrysanthemum (vroeger *Dendranthema*) is een geslacht uit één van de grootste plantenfamilies: de composietenfamilie (*Asteraceae*). De plant komt uit China waar ze nog steeds in het wild terug te vinden is. De chrysant gedijt in verschillende habitats waaronder graslanden, bergen, rivierbeddingen en kustlijnen. Het is een overblijvend kruid, dat tot 1 m hoog kan groeien met weinig vertakte, rechtopstaande of soms overhangende stengels. De bladeren zijn vlezig, olijfgroen en bedekt met fijne haartjes. Het blad is eivormig tot langwerpig ovaal, diep gelobd en meet tussen de 4 tot 10 cm bij 3 tot 5 cm. Origineel was de bloem geel van kleur, maar nu is er een enorm aanbod aan kleuren van geel, wit, crème, roze, groen, rood, oranje, paars, brons tot allerlei tweekleurige varianten. De bloemgrootte varieert tussen de 1 en 14 cm. Bij chrysanten bestaat het bloemhoofdje uit twee soorten bloempjes. Het hart wordt gevormd door buisbloemen, daarrond ontvouwen zich lintvormige straalbloemen. Deze eigenschap leidt tot talloze cultivars met dubbele of gevulde bloemen.

De chrysant wordt meestal geteeld als potchrysant of snijchrysant. In Vlaanderen wordt voornamelijk de potchrysant geteeld, dit op 261 hectare op ongeveer 200 bedrijven in 2017 (Spaargaren, 2015; VLAM, 2018c) .

De klassieke teelt in open lucht van potchrysanten start in maart met het stekken en eindigt rond 1 november. De stekjes zijn afkomstig van de kruidachtige stengels van gezonde moederplanten. Om virusinfecties te voorkomen worden de stekken best gescheurd en niet gesneden. De stekken kunnen eventueel met stekpoeder worden behandeld en worden daarna in een luchtig mengsel van turf en perliet geplant. De chrysanten worden geteeld in potten die deels ingegraven zijn in de grond. De kortedagperiode gebeurt op natuurlijke wijze. Telers die de teelt tot 17 weken willen inkorten of het hele jaar door chrysanten aanbieden, maken gebruik van serres. Dankzij verduisteringsdoeken en belichting kan de daglengte gestuurd worden. Ook de temperatuur en vochtigheid kunnen volledig gestuurd worden in de serre. Potchrysanten in de kas worden dikwijls geplozen om vertakking te stimuleren.

De chrysant prefereert een gematigd klimaat met gemiddelde temperaturen tussen de 16 en 24 °C. De plant gedijt het best in een vruchtbare, vochtige en goed gedraineerde bodem die zeer rijk is aan organisch materiaal.

2.2 Bemestingsproblematiek

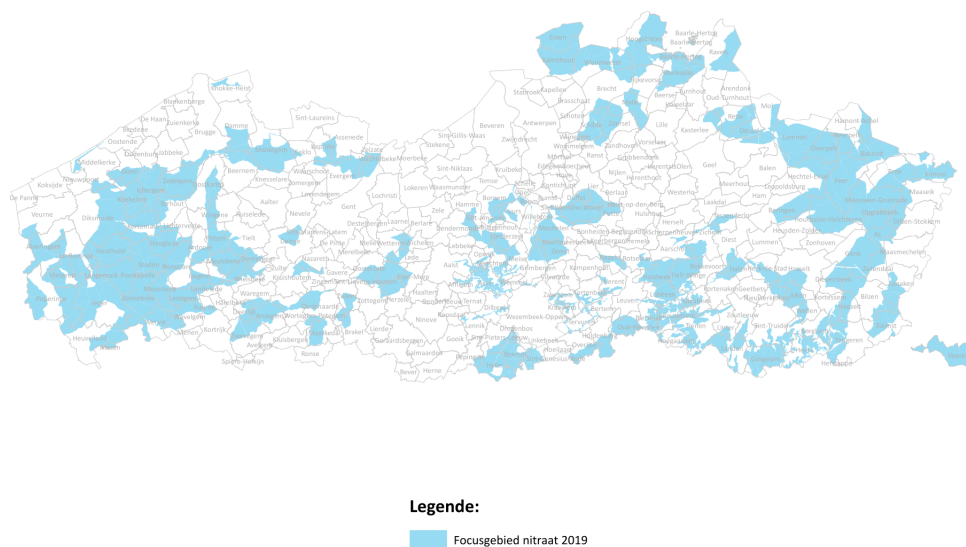
De niet-destructieve technieken, beschreven in deze thesis, hebben als doel om bij te dragen tot een preciezer en dus minder excessieve bemesting in de sierteelt. De focus ligt hier op de stikstofbemesting. Voor het telen van kwaliteitsvolle sierteeltproducten moet er voldoende bemest worden. Het spreekt voor zich dat wanneer een sierteler te hoog bemest, er dus ook onnodige kosten worden gemaakt. Zowel de kostprijs van de meststof als de kost voor het uitrijden of toedienen van de meststof kunnen verlaagd worden indien er correcter wordt bemest. Het vinden van cijfers hieromtrent is zeer moeilijk. Een zekere nuance bij deze stelling is nodig, daar de aankoop van meststoffen slechts 1% van alle kosten op een sierteeltbedrijf uitmaken. Energie daarentegen is goed voor 12% van de kosten. De kostprijs van mest-en sproeistoffen zou per plant vaak kleiner zijn dan 0,01 euro. Overbemesten heeft echter tal van negatieve consequenties, dit voornamelijk vanuit het milieustandpunt (PCS, 2018; Platteau et al., 2018).

Stikstof is van cruciaal belang voor het leven op aarde. De stikstofcyclus is een van de belangrijkste nutriëntencycli in natuurlijke ecosystemen. Planten nemen stikstof op uit de bodem en dieren eten de planten. Via fecaliën keert de stikstof terug naar de bodem waar bacteriën deze omzetten en de cyclus opnieuw begint. Elke interventie en dus ook landbouwactiviteiten verstoren het evenwicht in deze cyclus. De aanrijking van de bodem met nutriënten via meststoffen (vermesting), leidt tot waterverontreiniging en eutrofiëring. Bij het toedienen van (dierlijke) mest worden er potentieel verzurende stoffen zoals zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x), ammoniak (NH_3) en hun reactieproducten vrijgesteld in de atmosfeer. Wanneer deze stoffen neerslaan zullen die de bodem verzuren (de Vries, 2008; Vlaamse Milieumaatschappij, 2018).

Stikstof is opneembaar voor planten onder de vorm van ammonium en nitraat. Als er te veel nitraat aanwezig is in de bodem op een moment dat er geen of onvoldoende gewasopname is, spoelt het nitraat uit naar het grond- en oppervlaktewater. Zowel vanuit landbouw- als milieukundig aspect, wordt de hoeveelheid stikstof in de bodem daarom best zo goed mogelijk afgestemd op de gewasbehoefte. De nitraten die niet opgenomen worden door gewassen, blijven op het einde van het groeiseizoen achter in de bodem als residu, vandaar de term nitraatresidu. Om uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater zoveel mogelijk te vermijden, moet het nitraatresidu zo laag mogelijk zijn (Kros et al., 2018).

De uitspoeling van deze nitraten vormt een ernstige bedreiging voor de kwaliteit van het drinkwater en is één van de oorzaken van de eutrofiëring van het oppervlaktewater. Dit stimuleert de overmatige groei van waterplanten en algen waardoor de normale ecosysteemfuncties verstoord worden, het water verkleurt en er blijft onvoldoende zuurstof ter beschikking voor vissen. In 2010 werd in ongeveer 33% van de meetstations in Europese rivieren en meren tekenen van eutrofiëring waargenomen, zoals ook het geval is voor sommige kustwateren (Europese Commissie, 2010).

Om overbemesting en alle gevolgen ervan een halt toe te roepen, werden reeds vele initiatieven genomen op zowel Europees als federaal niveau onder de vorm van respectievelijk richtlijnen en actieprogramma's. Ongeveer de helft van de totale stikstofemissies in het oppervlaktewater in Europa zijn rechtstreeks toe te schrijven aan landbouwactiviteiten. Vandaar dat sinds 1991 de Europese nitraatrichtlijn (91/676/EEG) de waterkwaliteit in heel Europa probeert te beschermen. Hierbij wordt door de EU een grenswaarde van maximaal 50 mg/L nitraat in het grond- en oppervlaktewater opgelegd en wordt er gestreefd naar een optimale waarde van 25 mg/L. Voor de landbouwsector betekent dit de nitraatuitspoeling verminderen en goede landbouwpraktijken rond bemesting te stimuleren (European Commission, 2018; Europese Commissie, 2010).



Figuur 2.5: Focusgebied Nitraat 2019 (Vlaamse Landmaatschappij, 2019)

Deze Europese richtlijn wordt door elke lidstaat vertaald in een eigen actieprogramma en wetgeving. In België ligt deze bevoegdheid bij de Vlaamse regering die de mestactieplannen ontwerpt voor Vlaanderen. Sinds 2015 was het vijfde mestactieplan van kracht. MAP5 trachtte in de periode 2015-2018 de waterkwaliteitsnormen te behalen met een meer gebieds- en bedrijfsgerichte aanpak in vergelijking met de vorige mestactieplannen. Na het invoeren van de term focusgebied in MAP4, werd in dit nieuwe mestactieplan ook de term focusbedrijf geïntroduceerd. Focusgebieden zijn gebieden waar de nitraatconcentraties in het oppervlaktewater de norm van 50 mg nitraat per liter overschrijden of waar de evolutie van de nitraatconcentratie in het grondwater onvoldoende verbetert. In 2018 werd 238.168 hectare landbouwgrond (Figuur 2.5) als focusgebied bestempeld (Vlaamse Landmaatschappij, 2018b). Landbouwbedrijven met meer dan de helft van de bedrijfsoppervlakte in een focusgebied, werden vanaf MAP5 aangeduid als focusbedrijf door hun ligging. Deze bedrijven zijn verplicht om een aantal maatregelen te nemen om de uitspoeling van nitraten maximaal te beperken. Zo zijn deze landbouwers onder meer verplicht om een vanggewas in te zaaien, zijn ze onderhevig aan een strengere uitrijregeling voor meststoffen en zijn de drempelwaarden voor

nitraatresidu's in de bodem lager. Er kan een vrijstelling verkregen worden van de status van focusbedrijf via bodemanalyses. Deze moeten aantonen dat het huidige beheer geen risico's inhoudt voor de waterkwaliteit. Een landbouwbedrijf kan ook de status van focusbedrijf krijgen na een negatieve bedrijfsevaluatie. De nitraatresidu drempelwaarden in de periode van 1 oktober tot en met 15 november zijn voor niet-focusbedrijven altijd 90 kg/ha (drempelwaarde 1) en 200 kg/ha (drempelwaarde 2) voor specifieke teelten. Op focusbedrijven zijn deze respectievelijk 85 kg/ha en 190 kg/ha. Wanneer de eerste drempelwaarde niet wordt overschreden, zijn er geen gevolgen. Indien deze wel wordt overschreden, is de perceelsevaluatie negatief, maar indien eenmalig heeft dit geen effect op de bedrijfsstatus. Dit zorgt wel voor een auto-controle van het nitraatresidu in het jaar erop. Enkel indien op een niet-focusbedrijf het vorige jaar een overschrijding boven drempelwaarde 1 was en het huidige jaar de tweede drempelwaarde wordt overschreden, leidt een negatieve perceelsevaluatie tot de status van focusbedrijf maatregelencategorie 1. Om in te schatten of die overschrijding een hoger risico geeft op nitraatuitspoeling, moet de landbouwer het volgende jaar op eigen kosten een bodemanalyse uitvoeren om het nitraatresidu te bepalen. De status van het bedrijf in het jaar van overschrijding (focusbedrijf door ligging of een niet-focusbedrijf) bepaalt samen met eventuele overschrijdingen in het vorige jaar en de ernst van de overschrijding of het een perceels- of bedrijfsevaluatie wordt (Vlaamse Landmaatschappij, 2017).

Sinds enkele jaren speelt fosfor een meer prominente rol in het mestactieplan, het wordt namelijk zeer goed weerhouden in de bodem. Over de jaren heen is fosfor zich gaan opstapelen in de bodem van waaruit het langzaam wordt vrijgesteld en in het oppervlaktewater terechtkomt. Door de bemestingsnormen zodanig te verstrengen dat er elk jaar een klein beetje minder fosfor wordt toegediend dan er wordt geoogst, zal in theorie het fosforniveau van de bodem langzaam dalen. Deze theorie van fosfor uitmijnen, wordt dan ook als bijkomende maatregel teruggevonden in MAP5. De bemestingsnormen voor fosfor worden gekoppeld aan de fosforbeschikbaarheid in de bodem op basis van bodemanalyses. Op basis van deze analyses worden percelen ingedeeld in vier klassen. Wanneer deze analyses niet worden uitgevoerd valt het perceel automatisch in de hoogste klasse, klasse IV. Hoe hoger de klasse, hoe meer fosfor er in de bodem beschikbaar is en hoe minder extra fosfor er mag toegediend worden (Vlaamse Landmaatschappij, 2018c).

Verder dienen boom- en siertelers volgens MAP5 een verplichte N-analyse met bemestingsadvies uit te voeren. Deze analyses verschillen van de analyses voor nitraatresidu's, daar deze staalname voor de laatste bemesting moet plaatsvinden. Dit dient om de stikstofbemesting en plantbehoefte zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen. Voor eenjarige teelten is er een verplicht staal nodig per 2 hectare, voor meerjarige teelten is een staal per 6 hectare vereist. Deze bodemstalen worden geanalyseerd op stikstof en geven aanleiding tot een bemestingsadvies op bedrijfsniveau. Bij het niet naleven van deze verplichting, zullen de bemestingsnormen met 20% worden verlaagd in het hierop volgende

jaar (AVBS, 2015). De maximale bemestingsnormen (N en P) voor de sierteelt en boomkwekerij voor 2017 zijn terug te vinden in Tabel 2.1 & 2.2 (Vlaamse Landmaatschappij, 2018c).

Tabel 2.1: Maximum bemestingsnormen stikstof (Vlaamse Landmaatschappij, 2018c)

Teelt	Werkzame N (kg/ha, jaar)		Dierlijke N (kg/ha, jaar)
	Zandgrond	Niet-zandgrond	
Sierteelt en Boomkwekerij	160	180	170

Tabel 2.2: Maximum bemestingsnormen fosfor (Vlaamse Landmaatschappij, 2018c)

Teelt	Totale P_2O_5 (kg/ha, jaar)			
	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV
Sierteelt en boomkwekerij	85	65	55	45

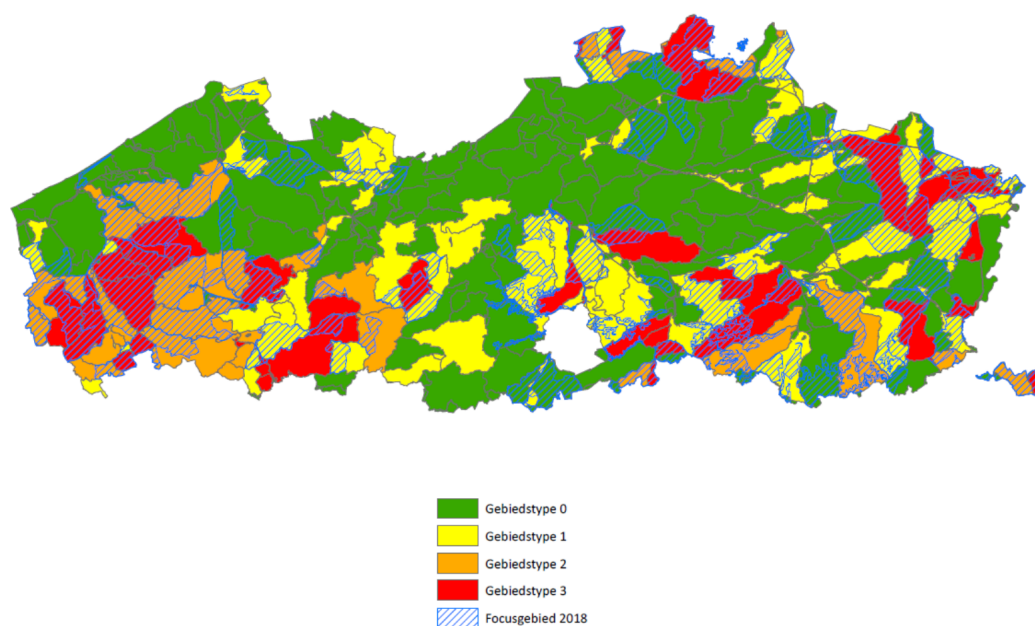
Op 22 mei werd MAP6 goedgekeurd door het parlement (De Standaard, 2019; Winckelmans, 2019). MAP6 zal van toepassing zijn tussen 2019 en 2022, de grootste vernieuwing is de gebiedsgerichte aanpak.

Het oorspronkelijk doel van de MAP's, was om tegen 2018 slechts bij 5% van de MAP-meetpunten een overschrijding van 50 mg nitraat per liter te hebben. In het winterjaar 2017-2018 was dit in 28% van de metingen het geval en in het huidige meetjaar, dat nog loopt tot juni 2019, is dit al 33% (Landbouwleven, 2019c; VILT, 2019b; Winckelmans, 2019). MAP6 belooft dit aan te pakken en is dan ook ambitieus.

De afstroomgebieden van de MAP-meetpunten werden fors uitgebreid. In die afstroomgebieden wordt vanaf nu het gemiddelde genomen in plaats van de individuele waarden. Deze gemiddelden dienen nog steeds lager te zijn dan de norm van 50 mg nitraat per liter. De streefwaarde werd echter sterk verlaagd tot 18 mg nitraat per liter, terwijl er oorspronkelijk 20 was afgesproken. Wat nieuw is, is dat ook de grondwaterkwaliteit wordt gekoppeld aan deze afstroomgebieden (Boerenbond, 2019; Landbouwleven, 2019b, 2019c; VILT, 2019b; Vlaamse Landmaatschappij, 2018a).

Concreet worden de nieuwe afstroomzones in Vlaanderen opgedeeld in vier gebieden (groen, geel, oranje en rood) voor oppervlaktewater op basis van de nitraatconcentraties tijdens de drie voorgaande winterjaren. Ook de kwaliteit van het grondwater wordt gebaseerd op dezelfde afstroomzones. Voor 2015, 2016 en 2017 zal het gemiddeld nitraatgehalte berekend worden en zal dit dienen als maatstaf om de zones opnieuw in te delen in één van de vier gebiedstypes. Zo kan er zowel voor oppervlaktewater als voor grondwater een kaart worden opgemaakt. Wanneer deze kaarten en de gegevens bij elkaar worden gevoegd, wordt een overzicht bekomen van alle gebiedstypes (Figuur 2.6). Afhankelijk van het gebiedstype waartoe een perceel behoort, zullen er strengere maatregelen moeten worden genomen. Door MAP6 zullen op 400.000 ha landbouwgrond de bemestingsregels verstrengen (Boerenbond, 2019; Haeck, 2019; Landbouwleven, 2019a, 2019b; VILT, 2019a; Vlaamse Landmaatschappij, 2018a).

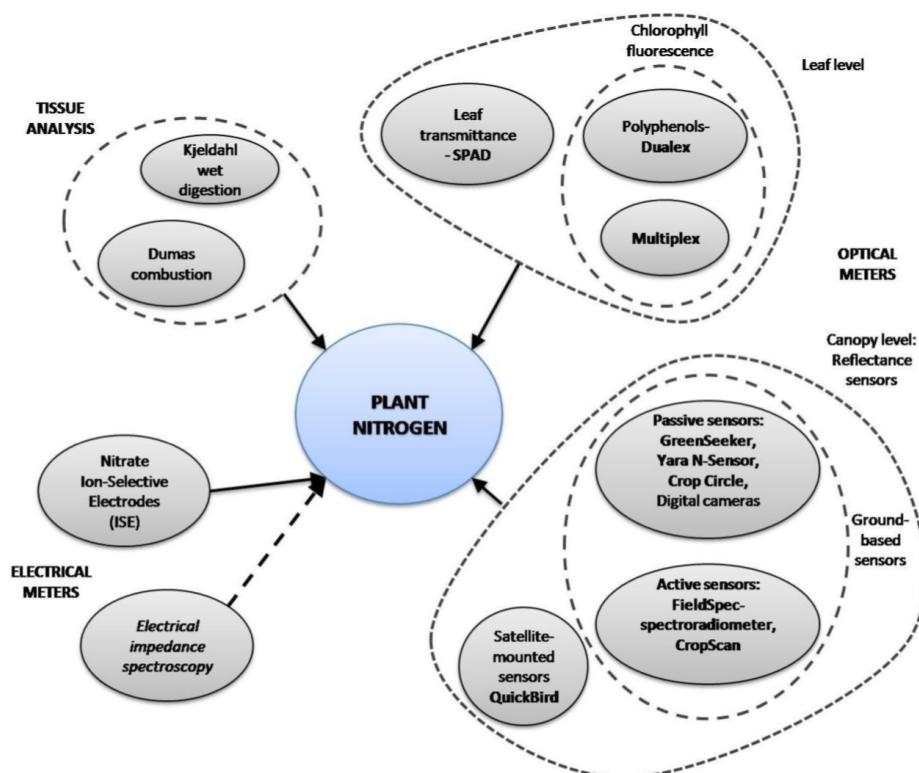
Enkele gebieden ten oosten en zuiden van Gent vallen nu in gebiedstype 1 terwijl die voorheen niet als focusgebied werden bestempeld. In de streek rond Brugge waar potchrysanthen worden geteeld, blijft de situatie vrij gelijkaardig als bij MAP5. Het AVBS (Algemeen Verbond van Belgische Siertelers) berekende de gemiddelde nitraatresidu's van 244 percelen uit de sierteelt in het najaar van 2017. Het globaal gemiddelde bedroeg 98 kg N/ha terwijl dit voor de boomkwekerijpercelen 97 kg N/ha was en voor de overige sierteeltproducten 103 kg/ha. Hieruit kan worden afgeleid dat de sierteeltsector onder MAP6 toch nog een extra inspanning zal moeten leveren om te voldoen aan de nieuwe normen (AVBS, 2018).



Figuur 2.6: Evaluatie oppervlaktewater - grondwater - gebiedstypes (Vlaamse Landmaatschappij, 2018a)

2.3 Niet-destructieve meettechnieken

De stikstofbemesting in de sierteeltsector moet dus preciezer worden. De opname van stikstof bij veel sierteeltgewassen is echter erg variabel. Niet alleen hangt dit af van het specifieke gewas en de cultivar, maar ook van de klimaat- en bodemomstandigheden en de plantdichtheid (Schoeters, Adriaenssens, Van Haecke, Deckers & Elsen, 2019). Om het gewas beter op te volgen, zou het mogelijk moeten zijn om de nutriëntenstatus en biomassa snel en eenvoudig te kwantificeren. Figuur 2.7 geeft een overzicht aan technieken die kunnen gebruikt worden bij het bepalen van de stikstofstatus. Zo kunnen er bladstalen genomen worden om via de Kjeldahl- of Dumasmethode op analytische wijze het stikstofgehalte te bepalen. Er bestaan evenwel ook sensoren die op niet-destructieve wijze het stikstofgehalte kunnen inschatten (*optical meters*) (Muñoz-Huerta et al., 2013). Op die manier kunnen metingen *in situ*, snel en relatief goedkoop worden uitgevoerd. Deze sensoren zijn vrij nieuw voor de landbouwer en worden voornamelijk eerst toegepast op grootschalige teelten zoals tarwe, maïs en aardappelen (Ros & Bussink, 2012). In deze masterproef worden sensoren gezocht die zowel betrouwbaar als makkelijk in gebruik zijn om in de teelt van knolbegonia en potchrysan te worden geïntroduceerd.



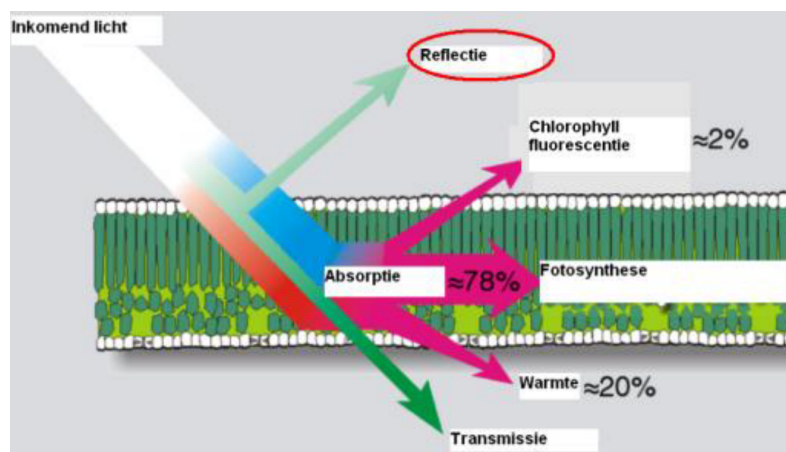
Figuur 2.7: Overzicht van de mogelijke technieken om het stikstofgehalte in een plant te bepalen (Muñoz-Huerta et al., 2013)

Bij deze optische meters wordt er een onderscheid gemaakt tussen sensoren op bladniveau en sensoren op gewasniveau. De sensoren op bladniveau kunnen verder opgedeeld worden in transmissiemeters en fluorescentiemeters.

De sensoren op gewasniveau werken bijna altijd met reflectiemetingen. Er wordt wel een onderscheid gemaakt tussen *remote sensing* (sensoren op satellieten, vliegtuigen en *Unmanned Aerial Vehicles*) en *near sensing* (sensoren dicht bij het aardoppervlak). Sensoren kunnen ook opgedeeld worden op basis van de lichtbron. Zo zijn er passieve sensoren die gebruik maken van het zonlicht en actieve sensoren die over een eigen lichtbron beschikken. De Dualex-meter, GreenSeeker en Apogee sensor werden allen gebruikt tijdens de veldproeven voor deze masterproef en zullen hierna meer in detail besproken worden (Ros & Bussink, 2012).

2.3.1 Algemeen principe

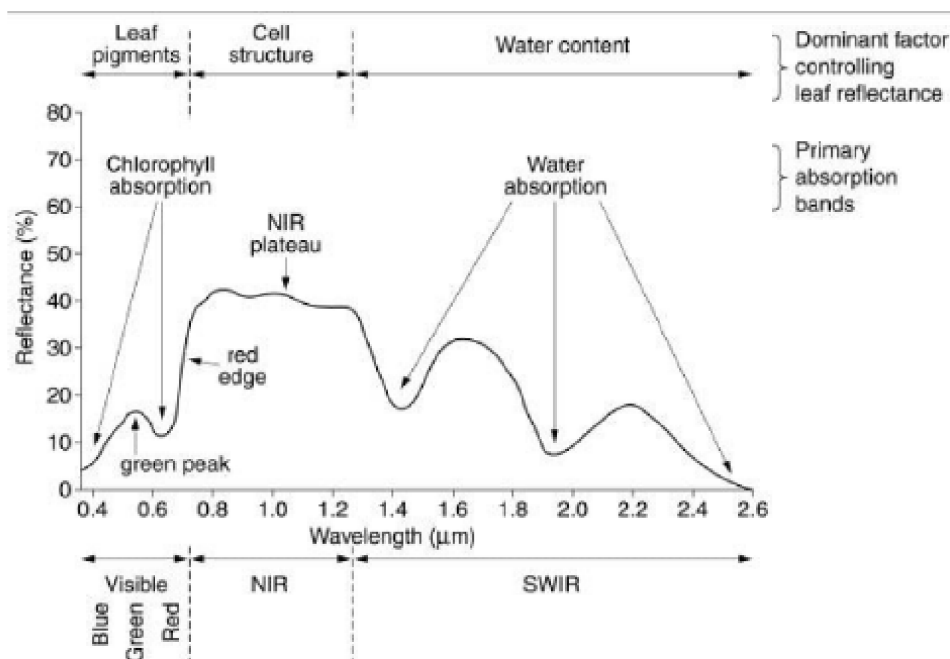
Het (zon)licht dat in contact komt met een gewas kan worden geabsorbeerd, gereflecteerd of getransmitteerd door het bladerdek (Figuur 2.8). Absorptie gebeurt voornamelijk door pigmenten zoals chlorofyl aanwezig in het blad. Bij absorptie van licht raakt chlorofyl in de aangeslagen toestand. Het geëxciteerd elektron zal binnen enkele nanoseconden zijn energie vrijstellen en terugvallen naar zijn grondtoestand. Deze energie kan gebruikt worden bij de fotosynthese of kan worden vrijgesteld onder de vorm van warmte of infrarode straling door fluorescentie. Het chlorofyl van planten absorbeert het meeste licht tussen 400-500 nm en 600-700 nm. Dit komt ongeveer overeen met blauw en rood licht. Omdat het licht met golflengtes tussen 500 en 600 nm meer wordt gereflecteerd, hebben planten voor het menselijke oog een groene kleur. Deze eigenschappen worden dan ook toegepast bij optische sensoren voor gewasmonitoring (Lu & Zhang, 1999; Muñoz-Huerta et al., 2013; Ros & Bussink, 2012).



Figuur 2.8: Overzicht van de lichtinterceptie, -reflectie en -transmissie door een blad (van der Schans et al., 2011)

Het geabsorbeerde licht bevindt zich voornamelijk in het zichtbare lightspectrum (380-760 nm). Ongeveer 80% van het zichtbare licht wordt geabsorbeerd, de rest wordt gereflecteerd (10%) en door het blad heen getransmitteerd (10%) (Figuur 2.8). Het geabsorbeerde licht wordt voor 78% gebruikt bij de fotosynthese. Gezond plantmateriaal

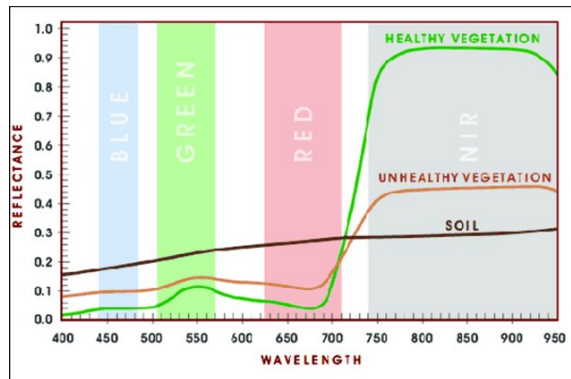
laat een zwaar reflectiedal zien in het rode spectrum (700 nm). Nabij-infrarood licht (NIR) valt net buiten het zichtbare licht met golflengtes tussen de 750 en 1400 nm. In het NIR neemt de reflectie enorm toe. Maximaal de helft van het nabije infrarood licht wordt gereflecteerd en de andere helft wordt door de bladlaag heen getransmitteerd. NIR licht wordt amper geabsorbeerd door een plant, maximaal 10 procent. De eerste bladlaag reflecteert 50%, de tweede 12,5% en de derde 3% van het infrarood licht, meer dan drie bladlagen geven geen bijdrage aan de reflectie van NIR (Buiten & Clevers, 1990). Deze reflectie wordt veroorzaakt door lichtverstrooiing in het blad, ook wel scattering genoemd, door de daar aanwezige celstructuren en turgordruk (Knipling, 1970; Thenkabail, Lyon & Huete, 2018). Planten onder stress verliezen hun stevige celstructuur, er komen holtes gevuld met lucht tussen de cellen en de turgordruk daalt. De NIR reflectie is bij planten onder stress dan ook opmerkelijk lager dan bij gezonde planten. Bij toenemende golflengtes gaat het intracellulaire water een grote rol spelen: een toenemende hoeveelheid van het invallende licht wordt geabsorbeerd en de reflectie daalt tot minder dan 5%. Deze verschillen in reflectie worden grafisch weergegeven in Figuur 2.9 (Ros & Bussink, 2012).



Figuur 2.9: Gewasreflectie van licht in relatie tot golflengte (Ros & Bussink, 2012)

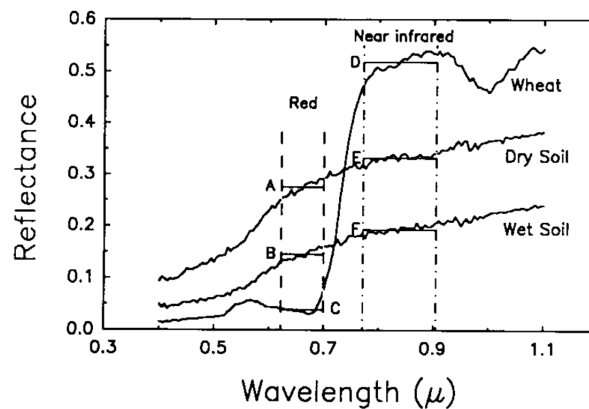
Planten onder stress tonen een aantal typische veranderingen in hun reflectiepatroon. Fotosynthetische activiteit hangt af van potentiële stressfactoren zoals vochtigheid, temperatuur, zonlicht, nutriëntenstatus en ziekte. Deze veranderen ook de hoeveelheid licht die gereflecteerd en geabsorbeerd wordt door het plantenweefsel. De reflectie in het zichtbaar licht kent een vlakker verloop bij planten onder stress en is over het algemeen hoger dan bij gezonde planten, dit verschil is het duidelijkst in het rode deel van het spectrum (650-700 nm) (Figuur 2.10). De reflectie van NIR licht is net lager onder stress.

Naarmate een plant zich herstelt, verandert het reflectiepatroon weer. De plant absorbeert meer zichtbaar licht (als energie voor fotosynthese) en reflecteert NIR licht (weerkaatst op de gezondere, met water gevulde mesofyllaag). Met dit specifieke verloop van de reflectie kan gezond plantmateriaal onderscheiden worden van planten onder stress.



Figuur 2.10: Reflectie van een gezonde plant, een plant onder stress en bodem in het zichtbaar licht en NIR (Chang et al., 2013)

De reflectie van bodem neemt geleidelijk toe bij grotere golflengtes, terwijl een gewas vooral veel NIR reflecteert (Figuren 2.10 & 2.11). Bij 100% bodembedekking komt er geen rood licht meer door het vegetatiedek. Bij een open gewas reflecteert de bodem veel rood licht. Hierdoor kan een index berekend worden om een schatting te maken van de biomassa.



Figuur 2.11: Reflectie van tarwe, droge bodem en vochtige bodem (Ros & Bussink, 2012)

2.3.2 Sensoren op bladniveau

Dualex Scientific+

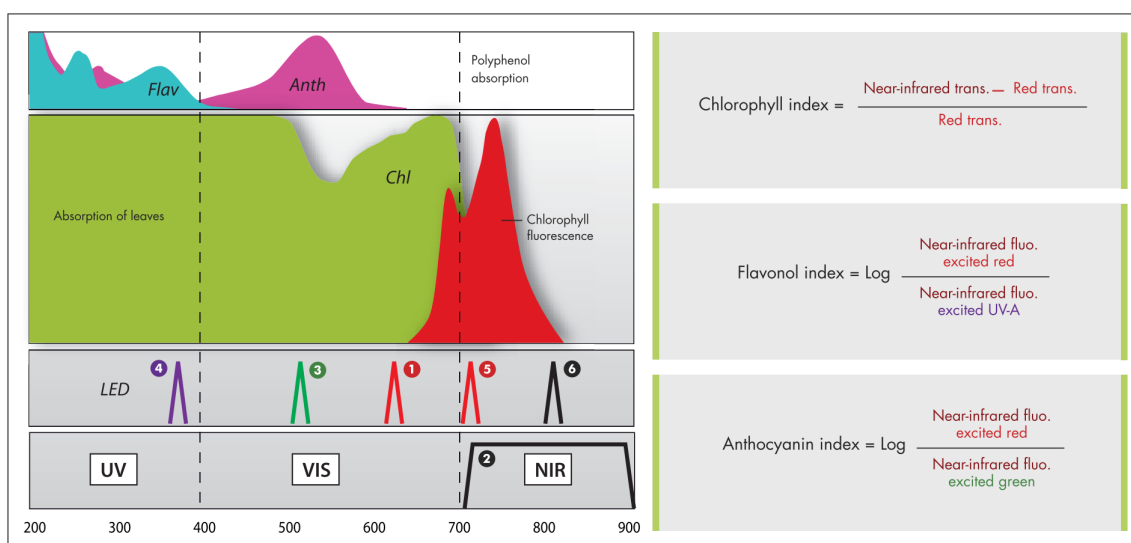
De Dualex Scientific+ is een optische sensor ontwikkeld door Force-A om het gehalte aan flavonoïden en chlorofyl in de epidermis van bladeren te bepalen (Figuur 2.12). De sensor is gebaseerd op onderzoek van het CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*) en de Universiteit van Paris-Sud Orsay. Met deze bladscanner kunnen real-time en niet-destructieve metingen worden uitgevoerd zonder voorafgaande kalibratie of

monstervoorbereiding. Hierdoor kunnen metingen onder alle omstandigheden van temperatuur en licht worden uitgevoerd zowel in het labo als op het veld. De belangrijkste toepassingen zijn terug te vinden in onderzoek en landbouw zoals het bijsturen van de bemesting, het bepalen van de oogstkwaliteit, voorkomen van bepaalde ziektes en als selectietool in de veredeling (Force A, 2013). Dit toestel meet het chlorofyl- en flavonolgehalte en berekent hieruit ook de *Nitrogen Balance Index* (NBI).



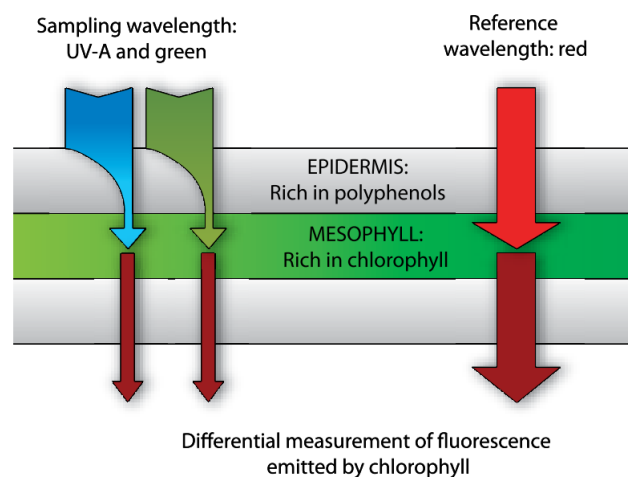
Figuur 2.12: Dualex Scientific+ (Force A, 2013)

Werking: Anthocyaninen en flavonolen zijn beide flavonoïden en dus polyfenolen. Flavonoïden komen in alle planten voor en zijn vaak rood, blauw, paars of zwart gekleurd. Het zijn antioxidanten die natuurlijk gevormde vrije radicalen kunnen onschadelijk maken. Vrije radicalen zijn zeer reactief en kunnen het DNA, eiwitten en onverzadigde vetzuren in cellen beschadigen. Flavonoïden absorberen ultraviolet (UV) licht, ze fungeren als een zonnefilter die de planten beschermt. Hierdoor kunnen ze onderscheiden worden van de golflengten die chlorofyl absorbeert. De Dualex-meter gebruikt deze natuurlijke UV-filters om de flavonoïden te bepalen. In Figuur 2.13 wordt de theoretische achtergrond van de Dualex sensor verduidelijkt, de cijfers in de tekst verwijzen naar deze figuur.



Figuur 2.13: Links: werkingsprincipe van de Dualex-meter. Rechts: de formules om de verschillende indices te berekenen. (Force A, 2013)

Voor het meten van het gehalte aan polyfenolen wordt gebruik gemaakt van de nabij-infrarood chlorofylfluorescentie (2). Deze fluorescentie wordt gemeten met behulp van een referentiegolflengte die niet wordt geabsorbeerd door polyfenolen (1). Deze wordt vergeleken met een tweede golflengte die wel geabsorbeerd wordt door een bepaald type polyfenolen bijvoorbeeld groen licht (3) voor anthocyaninen of UV-A (4) voor flavonolen. Slechts een fractie van dit licht bereikt het chlorofyl in het mesofyl en kan nabij-infraroodfluorescentie genereren (Figuur 2.14). Het verschil in chlorofylfluorescentie gemeten in het nabij-infrarood is dus recht evenredig met de hoeveelheid polyfenolen die aanwezig zijn in de epidermis van het blad. In formulevorm is de anthocyanine- of flavonolindex het logaritme van infraroodfluorescentie opgewekt door rood licht (2) / infraroodfluorescentie opgewekt door groen licht (3) of UV-licht (4). De flavonoïde-inhoud kan uitgedrukt worden in een bereik van 0,00 tot 3,00 (Force A, 2013; Goulas, Cerovic, Cartelat & Moya, 2004).

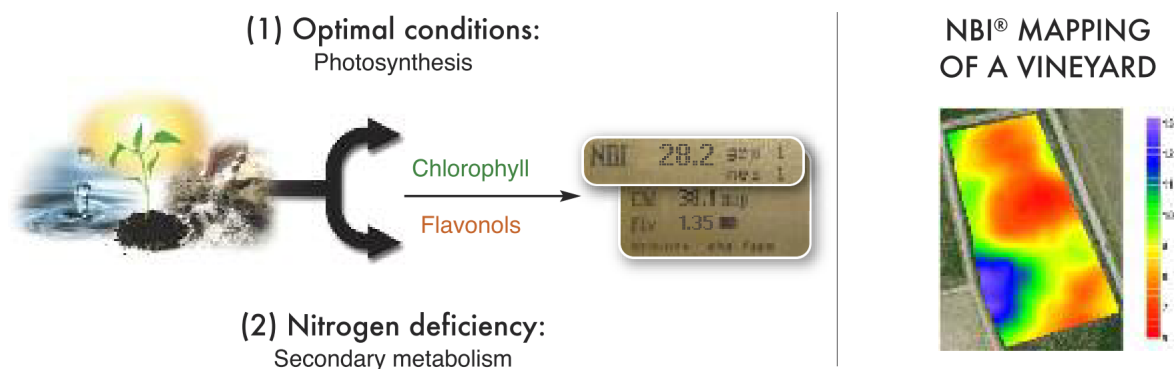


Figuur 2.14: Principe van chlorofylfluorescentie door een blad met de Dualex-meter (Force A, 2013)

Het bladchlorofylgehalte wordt bepaald door lichttransmissie. Een eerste golflengte (5) van 710 nm, zeer dicht bij de golflengte van rood licht, kwantificeert het chlorofyl. Een tweede golflengte in het nabij-infrarood licht van 860 nm (6) houdt rekening met de effecten van de bladstructuur. Door deze twee golflengtes te gebruiken, kan de Dualex een numerieke waarde, de chlorofylindex, tussen 0,00 en 150,00 berekenen. Deze correleert goed met de chlorofylinhoud in een gemeten monster. Samengevat heeft de Dualex vier LED-lichtbronnen, één in het UV-spectrum (375 nm), één in het rode spectrum (670 nm) en twee in het infrarode spectrum (710 en 860 nm) (Force A, 2013).

Mogelijkheden: Data over het chlorofyl- of flavonoïdegehalte van een plant kunnen helpen bij het inschatten van diens gezondheid en stikstofstatus. Een belangrijke waarde daarbij is de Nitrogen Balance Index (NBI), die de Dualex automatisch berekent. Het is al lang bekend dat het chlorofylgehalte een goede indicator is voor de fotosynthetische

activiteit, de stikstofstatus (chlorofyl bevat 4 N-atomen) en de biomassa van een plant (Ros & Bussink, 2012; Thoren & Schmidhalter, 2009). Uit onderzoek blijkt dat ook polyfenolen, in het bijzonder flavonoïden, indicatoren van de stikstofstatus van planten zijn. Een plant die volledig gezond is, zal volop fotosyntheseproducten vormen. Daarnaast worden er eiwitten (bouwsteen voor chlorofyl) en flavonoïden gevormd. Daarentegen wordt het metabolisme in het geval van stikstoftekort gericht op de productie van flavonoïden (Figuur 2.15).



Figuur 2.15: NBI (Force A, 2013)

De NBI is het resultaat van de ratio chlorofyl/flavonolen. Deze kan uitgedrukt worden in een bereik van 0,00 tot 999,00. Deze ratio maakt het mogelijk om eerder informatie te verkrijgen over de stikstofstatus van een gewas of stikstofgebrek te detecteren vooraleer dit zichtbaar wordt. De berekende NBI door de Dualex correleert goed ($r^2=0,931$) met de gemeten stikstofinhoud van het blad in tarwe (Tremblay, Wang & Cerovic, 2012). Bij een stikstofgift, zal de NBI toenemen als een gewas meer stikstof opneemt (Abdallah & Goffart, 2010). Het is van belang dat men tijdens het groeiseizoen tijdig actie onderneemt wanneer de NBI gaat afnemen.

2.3.3 Sensoren op gewasniveau

In theorie lijken absorptiemeters de beste manier om het chlorofylgehalte te bepalen in bladeren. De wet Lambert-Beer zegt namelijk dat de hoeveelheid chlorofyl rechtstreeks afhangt van de hoeveelheid geabsorbeerde straling. Uit onderzoek blijkt dat in de praktijk soms het chlorofylgehalte beter kan worden ingeschat via gewasreflectiemeters (spectroradiometers) (Richardson, Duigan & Berlyn, 2002). Reflectie is de ratio van energie die een object reflecteert op de energie die invalt op het object (Schaepman-Strub, Schaepman, Painter, Dangel & Martonchik, 2006). Deze gewasreflectiemeters werken volgens het basisprincipe uitgelegd in hoofdstuk 2.3.1. Naargelang hun resolutie en lichtbron kunnen deze sensoren het verschil tussen invallend en gereflecteerd licht in detail bepalen. De reflectie van gewassen wordt bepaald door het bladoppervlak, de interne structuur van het blad en de concentratie en verdeling van de biochemische componenten (zoals chlorofyl) in het blad. De analyse van het gereflecteerde licht kan dus gebruikt

worden om informatie te winnen over de biomassa en fysiologische status van het gewas (Peñuelas & Filella, 1998).

Dankzij deze gewasreflectiemeters kunnen verschillende vegetatie-indices worden berekend. Deze trachten een schatting te maken van de biomassa en gezondheid van een gewas. De bekendste vegetatie-index is de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Deze wordt berekend aan de hand van de volgende formule:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

De NDVI heeft z'n populariteit te danken aan de vele sensoren die zowel reflectiemetingen opnemen van het rode als van het nabij-infrarode licht (Govaerts & Verhulst, 2010). De waarde van de NDVI ligt steeds tussen -1 en 1. Negatieve waarden worden veroorzaakt door water aangezien water meer IR licht absorbeert. Onbedekte of weinig bedekte bodems zullen een NDVI geven van rond de nul. Hoe meer biomassa, hoe dichter de waarde zal aanleunen bij 1. Dit legt meteen een van de zwaktes van de NDVI bloot. Bij een zekere biomassa zal het gewas zo dicht en sluitend zijn dat zo goed als al het rode licht zal worden geabsorbeerd. De NDVI is op dit moment verzadigd en zal ook bij nog meer biomassa gelijk blijven aan 1. Onder andere bij maïs, tarwe en soja blijkt deze verzadiging voor te komen vanaf een LAI (*Leaf Area Index*) van groter dan twee (Gonzalez Toro & Tsourdos, 2018; Haboudane, Miller, Pattey, Zarco-Tejada & Strachan, 2004; Ros & Bussink, 2012).

Een vegetatie-index die frequent gebruikt wordt om dit probleem op te lossen is de *Red Edge Normalized Difference Vegetation Index* (RENDVI) of de *Normalized Difference Red Edge Index* (NDRE). Deze index is gelijkaardig aan de NDVI, maar gebruikt de ratio van nabij-infrarood licht en de golflengtes op de overgang van rood naar nabij-infrarood licht, 'Red Edge' (RE). Deze golflengtes bevinden zich rond de 715 nm en zijn minder gevoelig voor saturatie. Deze index laat ook toe om in een dicht gewas dieper door te dringen en een correcter beeld te geven van de biomassa (Gitelson, Merzlyak & Lichtenthaler, 1996; Sharma, Bu, Denton & Franzen, 2015).

$$RENDVI = \frac{NIR - RE}{NIR + RE}$$

De NDVI, die gebruikt maakt van zichtbaar rood licht, wordt het best gebruikt om een onderscheid te maken tussen bodem en gewas. Eens het gewas de volledige bodem bedekt zal de NDVI variëren in een zeer nauw bereik tussen 0,85 en 1. Vanaf dan is het correcter om de NDRE-index te gebruiken om schattingen te maken omtrent biomassa (Sharma et al., 2015).

De *Normalized Pigment Chlorophyll ratio Index* (NPCl) is de ratio van rood (660 nm) tot blauw (430 nm) licht. Het is gelijkaardig aan de NDVI maar wordt vooral interessant in afrijpende gewassen. Deze index wordt later in het seizoen gevoeliger voor veranderingen

in het chlorofylgehalte (Hatfield & Prueger, 2010; Peñuelas, Gamon, Fredeen, Merino & Field, 1994).

$$NPCI = \frac{660 \text{ nm} - 430 \text{ nm}}{660 \text{ nm} + 430 \text{ nm}}$$

De *Chlorophyll Normalized Difference Index* of (ChINDI) is opnieuw een variant op de NDVI die sterk gelijkt op de RENDVI (Casa, Castaldi, Pascucci & Pignatti, 2015; Gitelson & Merzylak, 1998).

$$ChINDI = \frac{750 \text{ nm} - 705 \text{ nm}}{750 \text{ nm} + 705 \text{ nm}}$$

De *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* of de OSAVI bestaat in meerdere varianten: de OSAVI 1 en 2. In de algemene vorm wordt die geschreven als:

$$OSAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{NIR + RE + L}$$

De OSAVI is een vegetatie-index die met behulp van een transformatietechniek de invloeden van de bodemreflectie minimaliseert. Deze index wordt dan ook aangeraden voor gewassen in een jong groeistadium of op percelen met relatief weinig vegetatie waardoor de bodem zichtbaar is. De factor L is een correctiefactor. Bij OSAVI 1 en 2 is L gelijk aan 0,16. OSAVI 1 maakt gebruik van de golflengtes 700 en 670 nm. OSAVI 2 gebruikt de golflengtes 750 en 705 nm (Haboudane, Miller, Tremblay, Zarco-Tejada & Dextraze, 2002; Ros & Bussink, 2012).

Van de *Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index* of TCARI bestaan ook meerdere varianten. TCARI 1 en 2 worden berekend aan de hand van de volgende formules:

$$TCARI1 = 3 * ((700 \text{ nm} - 670 \text{ nm}) - 0,2 * (700 \text{ nm} - 550 \text{ nm}) * \frac{700 \text{ nm}}{670 \text{ nm}})$$

$$TCARI2 = 3 * ((750 \text{ nm} - 705 \text{ nm}) - 0,2 * (750 \text{ nm} - 550 \text{ nm}) * \frac{750 \text{ nm}}{705 \text{ nm}})$$

De TCARI is een gemodificeerde versie van de *Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index* (MCARI).

$$MCARI = ((700 \text{ nm} - 670 \text{ nm}) - 0,2 * (700 \text{ nm} - 550 \text{ nm})) * \frac{700 \text{ nm}}{670 \text{ nm}}$$

Deze index was ontworpen om gevoelig te zijn aan chlorofylvariatie, maar ongevoelig te zijn voor niet-fotosynthetische materialen. MCARI bleek echter nog steeds gevoelig te zijn hiervoor, zeker bij lagere gehalten aan chlorofyl. De verschillen in de ratio (R700/R550) zijn sterk afhankelijk van de straling afkomstig van bodem en niet-fotosynthetische materialen. Om deze effecten te compenseren wordt de ratio (R700/R670) enkel toegevoegd aan de term (R700 - R550) (Haboudane et al., 2002).

De *Simple Ratio* of SR is de ratio van een golflengte uit het nabij-infrarood licht die sterk wordt gereflecteerd door vegetatie en een golflengte die sterk wordt geabsorbeerd door

chlorofyl. Deze index wordt vooral gebruikt voor het bepalen van veranderingen in groene biomassa gedurende het seizoen. De SR kan in veel omstandigheden gebruikt worden, maar is net als de NDVI gevoelig voor saturatie bij gewassen met een hoge LAI (Alvaro, García del Moral & Royo, 2007; Hatfield & Prueger, 2010).

$$SR = \frac{800 \text{ nm}}{680 \text{ nm}}$$

Zowel chlorofyl als carotenen absorberen blauw licht, maar enkel chlorofyl absorbeert rood licht. De *Simple Ratio Pigment Index* of SRPI is een ratio van de reflectie in deze twee regio's van het spectrum en is gecorreleerd aan de verhouding carotenen/chlorofyl (Reynolds & Ortiz-Monasterio, 2002).

$$SRPI = \frac{430 \text{ nm}}{680 \text{ nm}}$$

Wanneer de reflectie (%) wordt geplot tegenover de golflengte, bestaat er een piek rond de 550 nm en rond de 700 nm. Deze laatste piek bevindt zich dus in de overgang van rood en nabij-infrarood licht (*red edge*). In dit gebied stijgt de reflectie zeer snel. Met behulp van de eerste afgeleide kan berekend worden bij welke golflengte deze stijging het grootst is. Dit punt wordt het *Red Edge Inflection Point* (REIP) genoemd. Naarmate het gewas gezonder is, zal deze piek meer opschuiven naar rechts (Cho & Skidmore, 2006; Herrmann et al., 2010). Naast het berekenen van het maximum van de eerste afgeleide, kan dit punt ook gevonden worden via de *linear four-point interpolation technique*. Met behulp van vier golflengtes kan de REIP berekend worden in twee stappen. Eerst wordt de reflectie berekend in het REIP.

$$R_{REIP1} = \frac{(R_{670} - R_{780})}{2}$$

Daarna kan de golflengte van de REIP berekend worden:

$$REIP1 = 700 + 40 * \left(\frac{R_{REIP} - R_{700}}{R_{740} - R_{700}} \right)$$

Opnieuw kan gevarieerd worden in de golflengtes. Zo kan ook REIP2 en REIP3 berekend worden.

$$R_{REIP2} = \frac{(R_{667} - R_{782})}{2}$$

$$REIP2 = 700 + 40 * \left(\frac{R_{REIP} - R_{702}}{R_{742} - R_{702}} \right)$$

$$R_{REIP3} = \frac{(R_{665} - R_{783})}{2}$$

$$REIP3 = 705 + 35 * \left(\frac{R_{REIP} - R_{705}}{R_{740} - R_{705}} \right)$$

Met de eerste afgeleide kunnen opnieuw talloze ratio's berekend worden. De ratio van D725/D702 of *Derivative Chlorophyll Index* (DCI) blijkt veelbelovend voor verschillende gewassen. Dit is ook het geval wanneer het gewas de bodem slechts gedeeltelijk bedekt aangezien indices gebaseerd op de eerste afgeleide vrijwel ongevoelig zijn voor bodemreflectie. Deze index is goed in het detecteren van stress in het gewas (Kochubey & Kazantsev, 2012; Zarco-Tejada, Miller, Mohammed, Noland & Sampson, 2002).

Actieve sensor: GreenSeeker

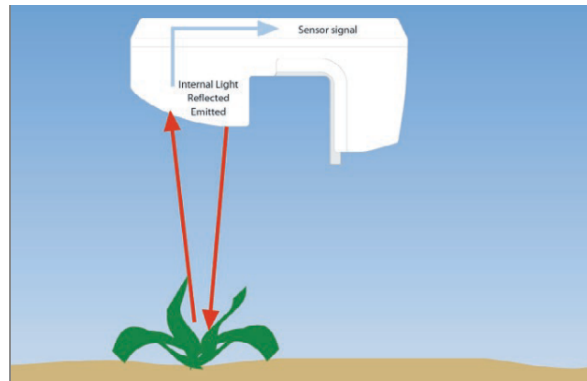
De GreenSeeker van Trimble is een actieve gewasreflectiemeter. Deze sensor helpt bij het in kaart brengen van de verschillen binnen een perceel. Hierdoor kan er plaats specifiek gewerkt worden. De meetwaarden geven een indicatie van de fotosynthetische activiteit en de hoeveelheid biomassa van het gewas. De GreenSeeker heeft een eigen lichtbron en daardoor is de sensor minder gevoelig voor fluctuaties in de intensiteit van het zonlicht (invalshoek, bewolking, mist...). Het is de GreenSeeker RT100 sensor die voor kleine veldproeven wordt gebruikt (Figuur 2.16). De ideale werkhoogte is 86 cm met een gezichtshoek van 32 graden. Dit zorgt voor een meetbereik van ongeveer 60 cm (Trimble, 2012; Yule, Mackenzie, Killick & Mackenzie, 2011).

Werking: In de meetkop van de sensor zitten geïntegreerde LED's die constant korte signalen licht uitzenden in het rode (660 nm) en nabij-infrarode (770 nm) deel van het lichtspectrum (Figuur 2.17). Een lichtgevoelige sensor (fotodiode) meet dan telkens opnieuw de reflectie van het rode en infrarode licht. Uit deze twee gewasreflecties wordt dan de NDVI berekend. Er wordt aangenomen dat de NDVI een goed beeld geeft van de hoeveelheid stikstof in het (bovengrondse) gewas. Wanneer gemonteerd op een spuitboom kunnen de gegevens direct worden gevisualiseerd op een display in de machine. De gemeten NDVI-waarden worden op locatie en in real-time getoond (Ros & Bussink, 2012; Triangle AG-services, 2015; Trimble, 2017).

Mogelijkheden: De GreenSeeker laat toe om biomassakaarten te maken, maar kan eveneens de stikstofbehoefte van gewassen inschatten en direct toedienen. Andere toepassingen zijn het detecteren van ziekten en plagen, het variabel toedienen van groeiregulatoren in granen en loofdoding bij aardappelen. Bij het bepalen van de hoeveelheid extra stikstof die moet worden toegediend, worden een aantal rekenregels toegepast. Zo bestaan er reeds voorgeprogrammeerde rekenregels voor tarwe, aardappelen en maïs. Idealiter wordt er gebruik gemaakt van een omgekeerd stikstofvenster. Om het systeem te gebruiken is het niet noodzakelijk om een referentiestrook (stikstofvenster) op te meten. Er kan beroep gedaan worden op eigen



Figuur 2.16: GreenSeeker RT100 (Trimble, 2010a)



Figuur 2.17: Werking GreenSeeker (Trimble, 2017)

ervaring of eventueel voorafgaande metingen (Ros & Bussink, 2012; Triangle AG-services, 2015; Trimble, 2010b, 2017).

Een gelijkaardig toestel is de CropCircle van Holland Scientific en de CropSpec van Topcon. De CropCircle werkt zeer gelijkaardig aan de GreenSeeker. Op 10 nm na gebruiken ze dezelfde golflengtes. Beide toestellen werken met LED's en hebben een gelijkaardige gezichtshoek, meetbereik en werkhoogte. De CropSpec werkt niet met LED's, maar met lasers die de golflengtes van 730 en 800 nm uitsturen. Dit toestel wordt gemonteerd op de cabine van een tractor en heeft dan een werkhoogte van 2 tot 4 meter met een gezichtshoek tussen de 45 en 55 graden. De CropSpec heeft hierdoor een veel ruimer meetbereik van 2 tot 3 m (Yule et al., 2011).

Passieve sensor: Apogee SS-110

De Apogee sensor SS-110 van Apogee Instruments (Figuur 2.18) is een passieve spectroradiometer die niet over een eigen lichtbron beschikt. Hij is eenvoudig in gebruik, kosteneffectief en een veelzijdig spectraal meetsysteem dat op een computer kan worden aangesloten. Door twee exemplaren te combineren kan de gewasreflectie eenvoudig berekend worden door zowel invallend als gereflecteerd licht simultaan te meten. Een andere sensor die dit doet is de CropScan. Spectroradiometers meten de lichtreflectie over een bepaald golflengtebereik gebruik makend van spectrale banden. De nauwkeurigheid en informatiedichtheid nemen toe met de hoeveelheid banden die gebruikt worden, van breedband naar hyperspectrale sensoren (Ros & Bussink, 2012). De CropScan meet een aantal golflengtes en is dus een multispectrale sensor. De Apogee SS-110 daarentegen meet een continue bereik tussen 340 en 820 nm en is dus een hyperspectrale sensor (Apogee Instruments, 2019b; CropScan, 2018). Deze sensoren leveren een enorme

hoeveelheid aan informatie op. Hiermee kunnen verschillende vegetatie-indices berekend worden die al dan niet beter correleren met het chlorofylgehalte en de biomassa voor het specifieke gewas.

Andere toestellen zoals de FieldSpec van ASD en de eerder vernoemde CropScan worden ook gebruikt voor gewasreflecties. Beiden zijn ook passieve sensoren die zelf geen licht uitzenden maar gebruik maken van het elektromagnetische spectrum van de zon. Bij de FieldSpec wordt er regelmatig een spectralon plaatje gemeten om de invallende intensiteit te kennen. Met de Apogee opstelling wordt synchroon het invallend licht gemeten, maar worden beide sensoren voor het meten wel gekoppeld aan de hand van een halon plaatje, dat net zoals spectralon het grootste deel van het invallend licht reflecteert.



Figuur 2.18: Opstelling met de Apogee SS-110 sensoren (Apogee Instruments, 2019a)

HOOFDSTUK 3

MATERIAAL & METHODEN

3.1 Plantmateriaal

De proeven vonden plaats op de percelen van het Proefcentrum voor de Sierteelt te Destelbergen (Schaessestraat 18). De gebruikte percelen bevinden zich aan de oostelijke kant van het proefcentrum (51° 4' 18,8"N, 3° 49' 00,7"O) en zijn omringd door akkerland.

Als plantmateriaal werden zaailingen van *Begonia x tuberhybrida* Voss aangekocht bij commerciële telers. Er werden twee cultivars aangeplant: een dubbelbloemige (Dubbel Roos) en een hangende (Pendula) begonia. Deze werden respectievelijk aangekocht bij Aelterman Gebroeders (Destelbergen) en perkplanten 't Jampens (Lochristi). Op 18 juni 2018 werden de zaailingen geplant op het proefveld. De begonia's werden geplant op ruggen van 0,38 m breed en 0,12 m tussen de ruggen. De plantafstand bedroeg 0,154 m in de rij.

Voor de chrysanten werden bewortelde stekken van de cultivars Maya en Orlando aangekocht bij Dataflor te Zonnebeke. Deze werden opgepot in 3,5 L potten en op het containerveld geplaatst op 14 mei voor Maya en 5 juni voor Orlando. Ze werden op het proefveld geplant op 14 juni voor Maya en 25 juni voor Orlando. De plantafstand bedroeg 0,45 m tussen de rijen en 0,90 m in de rij. De potten werden een tiental cm ingegraven, waardoor deze ook vollevelds water en nutriënten konden opnemen eens de wortels zich buiten de pot ontwikkelen.

3.2 Proefopzet

Voor het evalueren van niet-destructieve meettechnieken wordt het perceel opgedeeld in een *split-plot design*. Het proefveld van 22,6 en 15 m (begonia) en 24 op 23,25 m (chrysant) werd verdeeld in negen gelijke plots. Deze plots werden telkens onderverdeeld in twee subplots waarop voor elk gewas de twee cultivars werden geplant (Figuur 3.1). De plots werden verdeeld in drie bemestingstrappen om een reeks aan stikstofconcentraties te verkrijgen. Op die manier kon gezocht worden naar goede correlaties tussen sensormetingen en effectieve stikstofconcentratie.

Uit bodemanalyses (12 juni) bleek dat het perceel voor begonia een nitraatgehalte van 19 kg N/ha en een ammoniumgehalte van 4 kg N/ha had. Op basis hiervan werd een nulbemesting, standaarddosering en overdosis aan kunstmest berekend. Dit om een range te bekomen van deficiënt tot excessief. Er werd 0, 50 en 75 kg N/ha toegediend aan de verschillende plotjes. Dit gebeurde in 3 dosissen met intervallen van 1 tot 4 weken, afhankelijk van de weersvoorspellingen. De stikstof werd toegediend onder de vorm van Tropicote (15,5% N, 26,3% CaO). Eveneens werd er per plot 3,25 kg/ha patentkali toegediend. Op het perceel voor chrysant bedroeg op 12 juni het nitraatgehalte 13 kg N/ha en het ammoniumgehalte was lager dan 3 kg N/ha. Opnieuw werd er stikstof toegediend met Tropicote (15,5% N, 26,3% CaO) in drie ranges van 0, 50 en 75 kg N/ha. Dit in intervallen van 1 tot 4 weken afhankelijk van de weersvoorspellingen. Per plot werd er 8,19 kg/ha patentkali gedoseerd.

III	VI	IX
II	V	VIII
I	IV	VII
0 kg N/ha	50 kg N/ha	75 kg N/ha

Figuur 3.1: Indeling perceel in plots en subplots met de respectievelijke bemestingsdosering

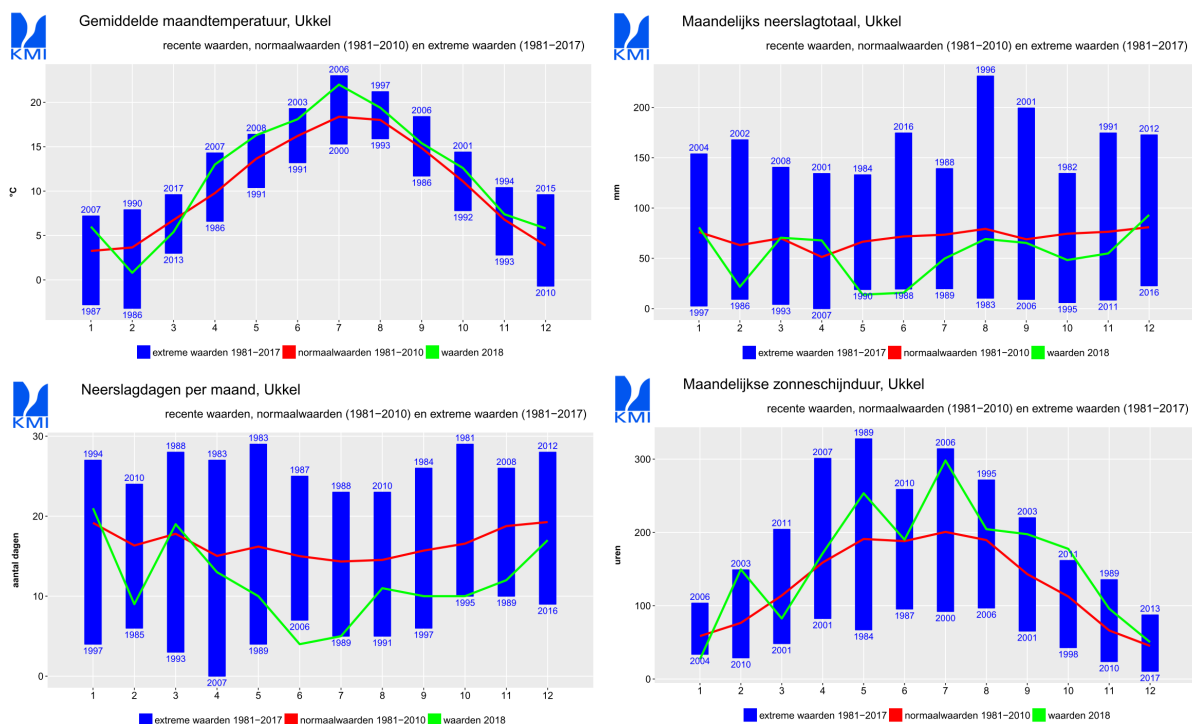
3.3 Klimaat en bodeminformatie

Het jaar 2018 is gekarakteriseerd door extreme droogte en hitte gedurende het voorjaar en de zomer (Figuur 3.2). Zowel de gemiddelde temperatuur (11,9°C) als de gemiddelde maximumtemperatuur (16°C) waren volgens het KMI uitzonderlijk, abnormaal hoog in 2018. Met 61 zomerse dagen (max > 25°C) werd het vorige record (45 dagen) uit 2006 verbroken. In 2018 viel er slechts 650,2 mm neerslag op 142 regendagen. Dit wordt door het KMI bestempeld als respectievelijk zeer abnormaal en uitzonderlijk. In februari viel weinig neerslag, maar in mei, juni en juli viel bijna geen regen. In augustus viel opnieuw wat regen, gevolgd door een droger najaar dan normaal. In 2018 scheen gedurende 1898 uur en 37 minuten de zon, wat opnieuw zeer abnormaal was. De globale zonnestraling was uitzonderlijk hoog met 1171,7 kWh/m² (KMI, 2019).

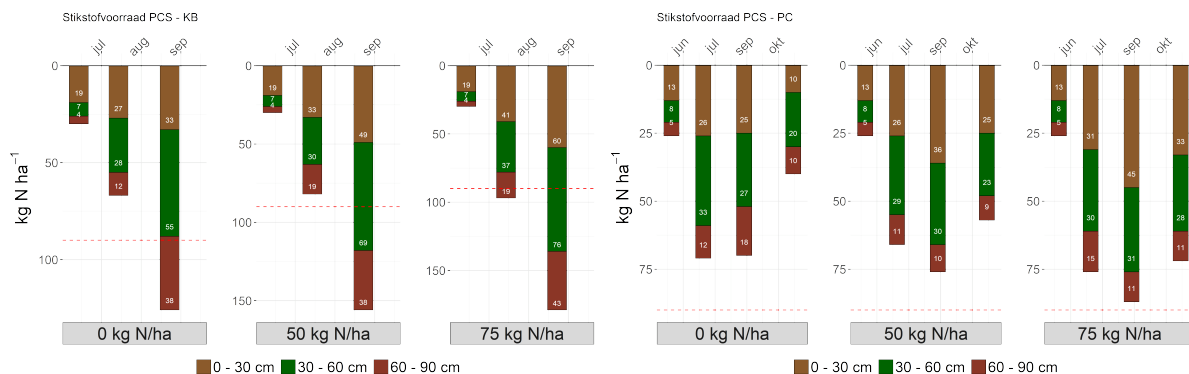
Zoals eerder vermeld, werden er voor het planten bodemstalen genomen, ook tijdens en na het groeiseizoen werden stalen genomen (Figuur 3.3). Bij begonia werden er geen eindstalen genomen omdat de teelt vroegtijdig werd stopgezet. Uit de eerste bodemanalyse bleek dat de bodem bestond uit fijne zandgrond met een pH-KCl van 6,3 en een organische koolstofinhoud van 1,3 % op het perceel van de begonia's. Voor de

HOOFDSTUK 3. MATERIAAL & METHODEN

potchrysanthen bedroeg de pH-KCl 5,5 met een organische koolstofinhoud van 5,1 %. De percelen werden dagelijks beregend.



Figuur 3.2: Klimatologisch overzicht 2018, Ukkel (KMI, 2019)



Figuur 3.3: Stikstofvoorraad PCS: KB = knolbegonia en PC = potchryasant

3.4 Sensormetingen

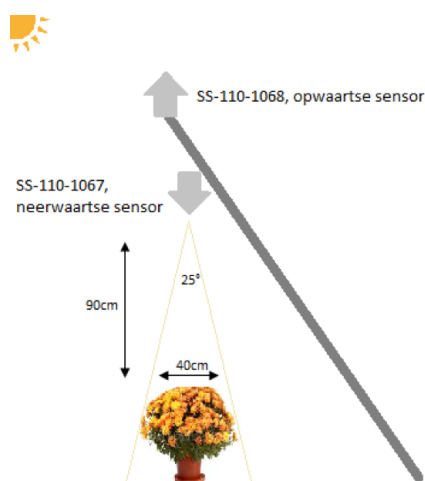
3.4.1 Metingen op bladniveau

De metingen op bladniveau gebeurden tweewekelijks met de Dualex Scientific+ (Force-A). Voor begonia werden de metingen uitgevoerd tussen 27 juni en 18 oktober, voor chrysanthen tussen 12 juni en 12 oktober. Voor elke plot en elke cultivar werden 16 (begonia) of 15 (chrysanthen) at random gekozen lichtbladeren geplukt. De bemonsterde bladeren waren de jongste, volgroeide bladeren die volledig blootgesteld waren aan zonlicht. Na het

verzamelen van de bladeren op elke subplot, werd voor ieder blad op de linker- en rechterhelft een Dualex-meting uitgevoerd aan de adaxiale zijde. Daarna werd dit herhaald voor de respectievelijke abaxiale zijde. Vervolgens werd het blad in twee gelijke delen geknipt langs de hoofdnerf. Omdat een begoniablاد asymmetrisch is (Figuur 2.4), werden de bladeren in twee groepen verdeeld. Groep 1 waren de eerste acht linkerhelften en de laatste acht rechterhelften; groep 2, de eerste acht rechterhelften en de laatste acht linkerhelften. Beide groepen werden eerst gefotografeerd met een spiegelreflexcamera en een lichtbak om de bladoppervlakte te bepalen. Ook werd het versgewicht bepaald. Groep 1 ging de diepvries in bij -80°C voor latere chlorofylbepalingen en groep 2 ging naar de droogstoof voor drooggewicht en de latere stikstofanalyse. Voor chrysanth was het chlorofylgehalte niet destructief bepaald. Ook voor chrysanth werden de bladeren eerst gefotografeerd waarna alle bladeren naar de droogstoof gingen om later het drooggewicht en stikstofgehalte te bepalen.

3.4.2 Metingen op gewasniveau

Voor de metingen op gewasniveau werden de GreenSeeker RT100 sensor van Trimble en een opstelling met twee Apogee SS-110 sensoren gebruikt. Met de GreenSeeker werden er voor begonia metingen uitgevoerd op 19 juli, 16 augustus en 6 september. Bij chrysanth werd op 27 juni, 20 juli, 9 augustus, 30 augustus en 21 september gemeten. De GreenSeeker werd steeds op ongeveer 0,8 m boven het gewas gehouden. Er werden per plot twee type metingen uitgevoerd. Een continue meting waarbij over het bed heen werd gemeten en een puntmeting boven de planten die effectief later voor destructieve analyse gebruikt werden. Voor begonia was een bed 3,5 m lang, daar werd tweemaal over gemeten. Bij chrysanth was een rij 6,3 m lang en werd er slechts éénmaal over gemeten. Voor de puntmeting werd bij begonia een kader van 39 op 60 cm gebruikt terwijl bij chrysanth er twee representatieve planten (gemiddelde diameter en hoogte) werden gekozen.



Figuur 3.4: Opstelling met de Apogee SS-110 sensoren (Bracke, 2018)

Met de Apogee sensor werd er voor begonia gemeten op 27 juli en 16 augustus. Voor chrysanth was op 27 juni, 27 juli, 10 augustus, 3 september, 21 september en 12 oktober gemeten. De opstelling met de Apogee sensoren bestond uit een neerwaartse sensor met een gezichtshoek van 25 graden en een opwaartse met een gezichtshoek van 180 graden (Figuur 3.4). Door zowel invallend als gereflecteerd licht simultaan te meten kan de reflectie eenvoudig worden berekend. Deze opstelling moet vooraf geijkt worden aan het daglicht en aan een referentiestandaard. Dit is een wit plaatje uit halonen dat 97 % van het licht tussen 300 en 1700 nm reflecteert (Apogee Instruments, 2019a). Daarna kunnen de metingen van start gaan met behulp van de bijgeleverde software op een aangesloten tablet. De sensor werd eveneens 0,8 m boven het gewas gehouden. Per plot werden meerdere puntmetingen uitgevoerd.

Na beide sensormetingen werden volledige plantstalen genomen. Voor begonia werden alle planten bemonsterd die binnen het kader vielen bij de puntmeting met de GreenSeeker. Bij chrysanth werden eveneens de twee planten van bij de puntmeting bemonsterd. Telkens werd de bovengrondse biomassa bepaald, waarna de stalen in de droogstoof gingen om later het drooggewicht en stikstofgehalte te bepalen. Bij begonia werden ook telkens de knollen gewogen en gesorteerd op diameter. Op het einde van het groeiseizoen werd ook bij chrysanth de ondergrondse biomassa bepaald.

3.5 Labo-analyses

3.5.1 Chlorofylbepaling

De chlorofylbepaling werd uitgevoerd volgens de methode voor pigmentbepaling van Arnon (1949) en Lichtenthaler (1987). Per plot en per datum werden de ingevroren bladeren gemixt en vermalen tot een mengstaal met behulp van een elektrische molen en vloeibare stikstof. Per mengstaal werd een epje gevuld met een afgewogen hoeveelheid (40 tot 100 mg) vermalen bladmateriaal waarna er 1,5 mL van een 80 % aceton oplossing werd toegevoegd om de extractie uit te voeren. Hierna werden deze epjes voor 24u in de diepvriezer geplaatst bij -20 °C om de fasescheiding te laten optreden. De volgende dag werden de epjes geschud met een vortexmixer en gedurende drie minuten in een centrifuge geplaatst. Daarna werd een vijfvoudige verdunning gemaakt van het extract met de 80 % aceton oplossing om metingen te bekomen met een optische dichtheid tussen 0,2 en 0,8 voor elke absorbantie. Hiervan werden 350 μ L stalen in drie herhalingen gepipetteerd in een *96 well standard microplate*. Per microtiterplaat werden ook drie blankostalen met 80 % aceton oplossing toegevoegd. Een spectrofotometer (Infinite M200 Tecan Group Ltd.) mat de absorbantie in vier spectra (470, 646,8, 663,2 en 750 nm). De meeste formules die zijn opgesteld om de chlorofylconcentratie te bepalen aan de hand van absorbanties zijn gebaseerd op metingen met een *pathlength* van 1 cm. Om

berekeningen te maken met deze absorbantiewaarden moet er niet enkel gecorrigeerd worden met de blankostalen, maar ook voor de *pathlength* die kleiner is dan 1 cm in een microtiterplaat. Volgende formule geeft de correctie voor de absorbantie bij een golflengte x (Warren, 2008).

$$A_{x,1cm} = \frac{A_{x,microplate} - A_{x,microplate,blanco}}{pathlength}$$

Daarna kunnen de concentraties chlorofyl (a+b) en caretonoïden (x+c) berekend worden met volgende formules:

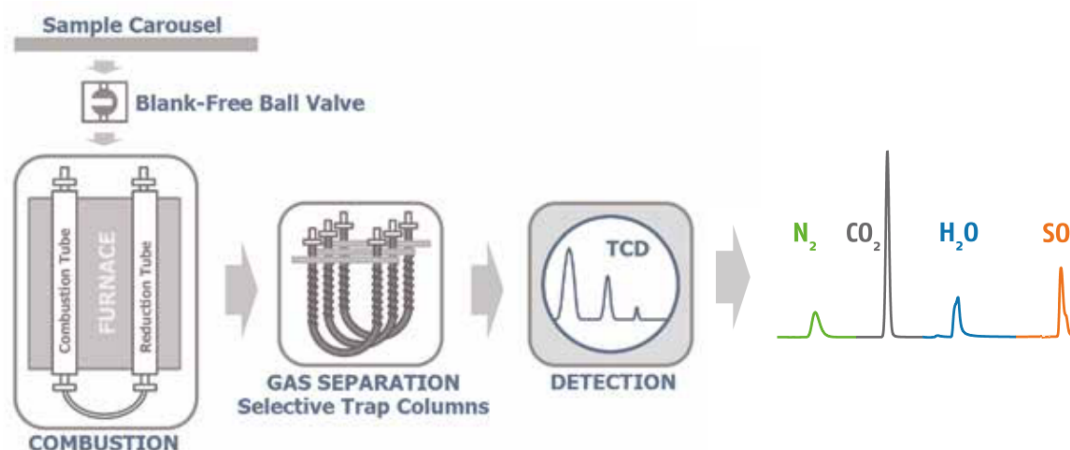
$$C_a = 12,25 * A_{663,2} - 2,79 * A_{646,8}$$

$$C_b = 21,5 * A_{646,8} - 2,79 * A_{663,2}$$

$$C_{x+c} = \frac{(1000 * A_{470} - 1,82 * C_a - 85,02 * C_b)}{198}$$

3.5.2 Stikstofanalyse

Er werden stikstofanalyses uitgevoerd op zowel de bladstalen waarop Dualex-metingen werden uitgevoerd als op de volledige planten. Deze stalen werden bewaard en gedroogd in de droogstoof waarna ze werden vermalen met de IKA A11 basic analytic mill. De plantstalen werden vermalen met de Retsch SM 200 snijmolen. De vermalen stalen werden naar het ForNaLab te Gontrode gebracht om daar de stikstofanalyses uit te voeren met de Dumas methode. De vario MACRO cube CHNS van Elementar (Figuur 3.5) werd hiervoor gebruikt. In dit toestel worden de stalen gemengd met een overmaat zuurstof en verbrand bij temperaturen tot 1200 °C. Door deze verbranding wordt alle koolstof omgezet tot koolstofdioxide, alle waterstof tot water, alle zwavel tot zwaveldioxide en alle stikstof tot stikstofoxides. Daarna worden de stikstofoxides gereduceerd tot stikstofgas (Elementar Analysensysteme GmbH, 2016).



Figuur 3.5: Werking vario MACRO cube CHNS (Elementar Analysensysteme GmbH, 2016)

De vario MACRO cube werkt volgens de *purge and trap* techniek om tegelijk koolstof, waterstof, stikstof en zwavel te detecteren. Het draaggas, helium, brengt de gevormde gassen van de verbrandingszone naar de gasseparatiezone (Figuur 3.5). De verschillende gassen (CO_2 , H_2O en SO_2) worden achtereenvolgens geadsorbeerd aan drie specifieke kolommen. Enkel stikstofgas kan door de drie kolommen passeren en de *thermal conductivity detector* (TCD) bereiken die daarna een signaal stuurt naar de computer. Na de detectie van het stikstofgas worden achtereenvolgens de separatiekolommen opgewarmd om CO_2 , H_2O en SO_2 vrij te geven voor detectie aan de TDC. In de CNS modus wordt na de verbranding het water gecondenseerd en verwijderd zodat enkel koolstof, stikstof en zwavel de TDC bereiken. De CNS modus wordt best gebruikt om plantmateriaal te analyseren door de hoge C:S verhouding (Elementar Analysensysteme GmbH, z. j., 2016, 2017).

3.6 Statistische verwerking

Alle data bevonden zich in een .csv of een .xls bestand en werden dan ook eerst verwerkt in MS Excel. Daarna werden alle data ingelezen in R-Studio om met behulp van R software (R Core Team, 2016) de data verder te onderzoeken en grafieken op te maken.

Eerst werden de gemiddelden en de standaardafwijkingen berekend. De NBI werd berekend als de ratio van de gemiddelde chlorofyl index van de adaxiale en abaxiale zijde tegenover de som van de flavonol index aan adaxiale en abaxiale zijde.

Alle data werden in R-Studio getest op normaliteit en homoscedasticiteit. Voor het vergelijken van de significante verschillen tussen de gemeten parameters voor de bemestingstrappen werd een One-Way ANOVA analyse uitgevoerd ($p=0,05$). Wanneer de ANOVA-analyse aangaf dat er een significant verschil bestond tussen de bemestingstrappen op het 5% significantieniveau werd bijkomend een Tukey-test ($p=0,05$) uitgevoerd. Zo kon achterhaald worden tussen welke bemestingstrappen de verschillen zich bevonden. Dit werd onderzocht voor het volledige groeiseizoen en voor alle data van staalname afzonderlijk.

Alle correlaties, regressievergelijkingen en R^2 -waarden werden ook in R-Studio berekend. Eerst werd met *Pearsons Correlation Coefficient* gezocht naar verbanden. Daarna werd een lineaire regressie uitgevoerd om de regressievergelijking, R^2 en p-waarde te berekenen. Voor elke regressie werd de homoscedasticiteit gecontroleerd. Wanneer een polynoom een betere fit gaf dan het lineair model werd voor de polynoom geopteerd.

De vegetatie-indices werden berekend met de ruwe data, enkel voor het plotten van de reflectie (Apogee sensor) in de loop van het seizoen werd een *smoothing* op de data uitgevoerd met de Savitzky-Golayfilter (venster = 25 & graad = 1).

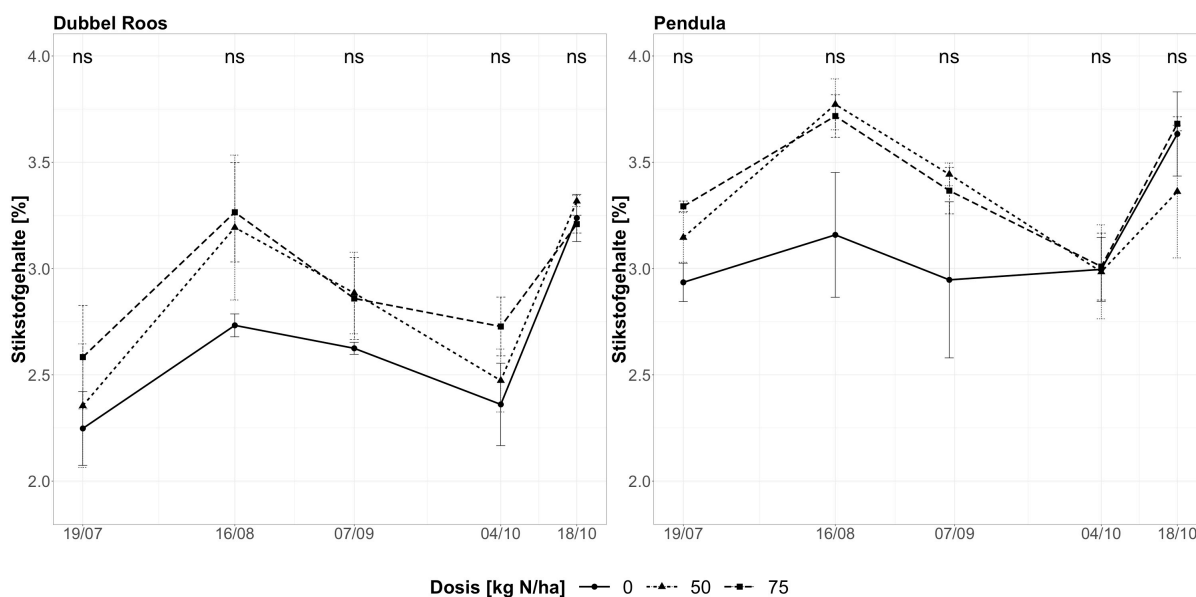
HOOFDSTUK 4

RESULTATEN

4.1 Metingen op bladniveau

4.1.1 Knolbegonia

Stikstofanalyse van de bladstalen



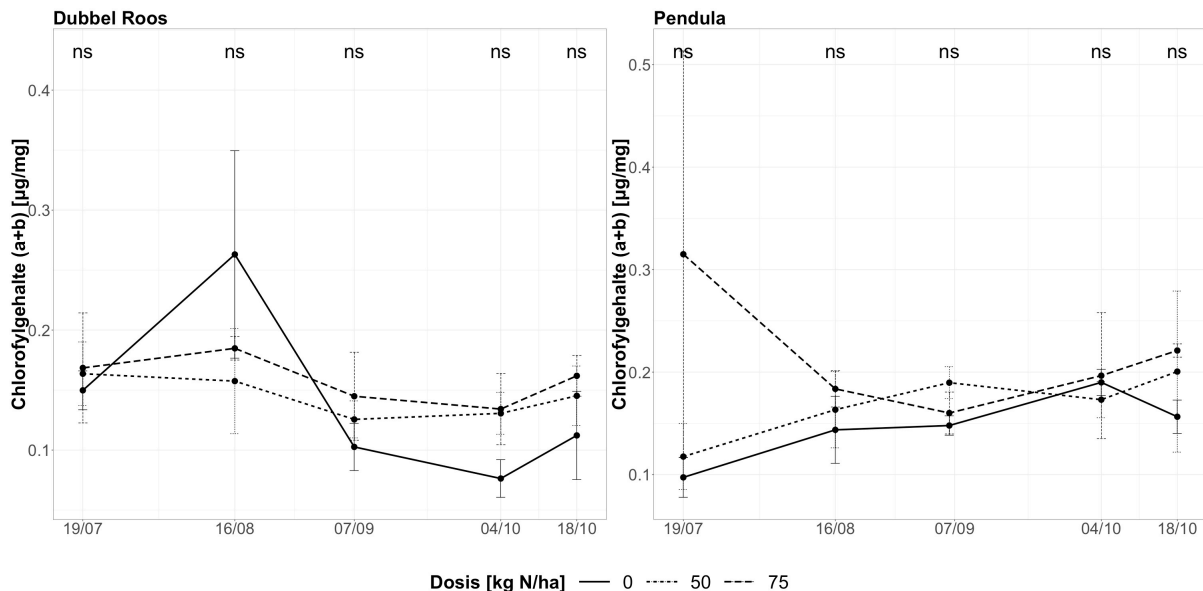
Figuur 4.1: Effect van de stikstofbemesting op het stikstofgehalte (%) in de bladeren van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, $n = 3$) (ns = niet-significante verschillen met $p > 0,05$)

Voor beide cultivars werden op 19 juli de laagste stikstofgehaltenes (%) waargenomen waarna deze stegen naar een eerste piek op 16 augustus. Daarna daalden de stikstofgehaltenes om uiteindelijk op 18 oktober nogmaals te pieken (Figuur 4.1). Het gemiddeld stikstofgehalte van de standaarddosis (50 kg N/ha) bedroeg 2,8 % voor Dubbel Roos en 3,3 % voor Pendula.

Chorofylbepaling van de bladstalen

Het chlorofylgehalte van de bladstalen werd analytisch bepaald (Figuur 4.2). Het gemiddelde van de standaarddosis bedroeg 0,144 $\mu\text{g}/\text{mg}$ voor Dubbel Roos en

0,169 $\mu\text{g}/\text{mg}$ voor Pendula. De bekomen waarden waren zeer laag met weinig variatie over het seizoen. Waardoor deze data niet werden gebruikt om correlaties te onderzoeken. Verdere optimalisatie van het protocol is dan ook nodig om het te kunnen toepassen op deze twee begonia cultivars.

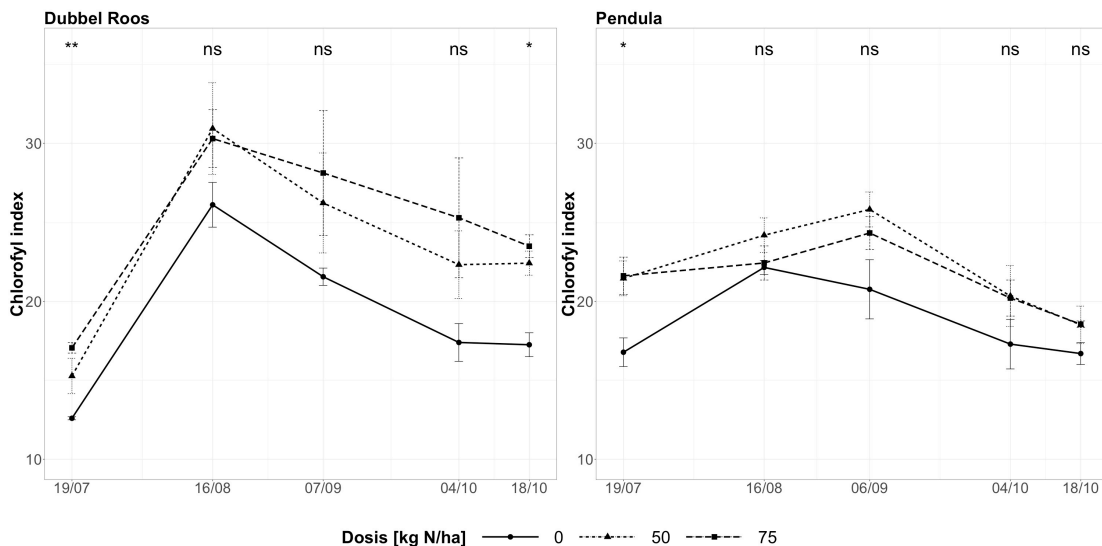


Figuur 4.2: Effect van de stikstofbemesting op het chlorofylgehalte in de bladeren van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, $n = 3$) (ns = niet-significante verschillen met $p > 0,05$)

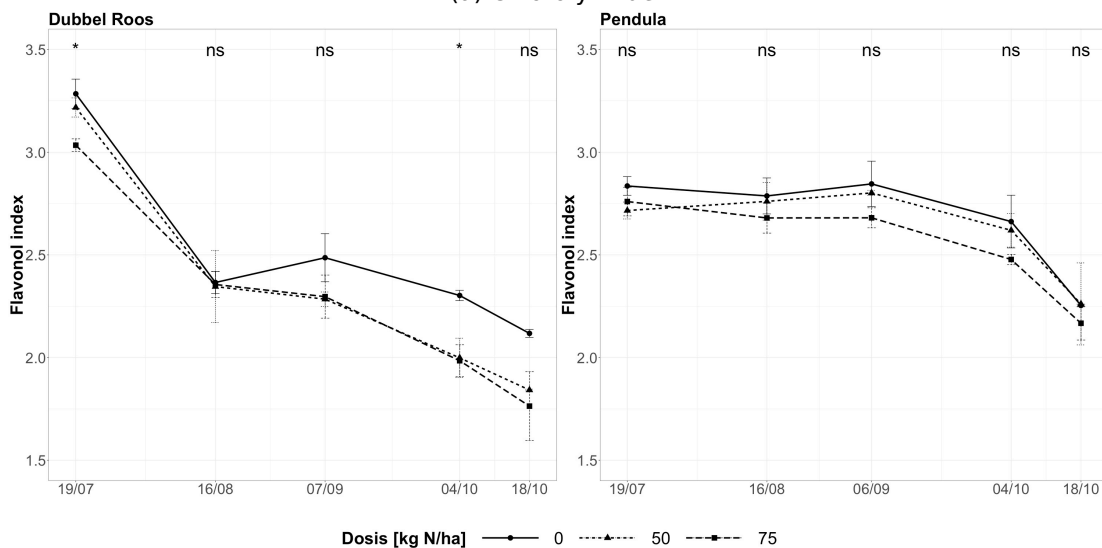
Seizoensverloop van de indices op bladniveau

De chlorofyl index kende voor beide cultivars een maximum in de tweede helft van augustus (Figuur 4.3a). De gemiddelde chlorofyl index van de standaardbemesting (50 kg N/ha) bedroeg 23,4 voor Dubbel Roos. Tussen de drie dosissen was er een significant verschil ($p=0,035$) over het volledige seizoen, meer specifiek tussen de dubbele dosis (75 kg N/ha) en de nulbemesting. Op 19 juli en 18 oktober was dit verschil het meest uitgesproken (Figuur 4.3a). Voor Pendula was de gemiddelde chlorofyl index van de standaarddosis gelijk aan 22,1. Over het volledige groeiseizoen bestond er een significant verschil ($p=0,0083$) tussen de bemestingsregimes. Zowel de standaarddosis als de dubbele dosis waren significant hoger dan de nulbemesting. Op 19 juli was dit verschil het duidelijkst (Figuur 4.3a).

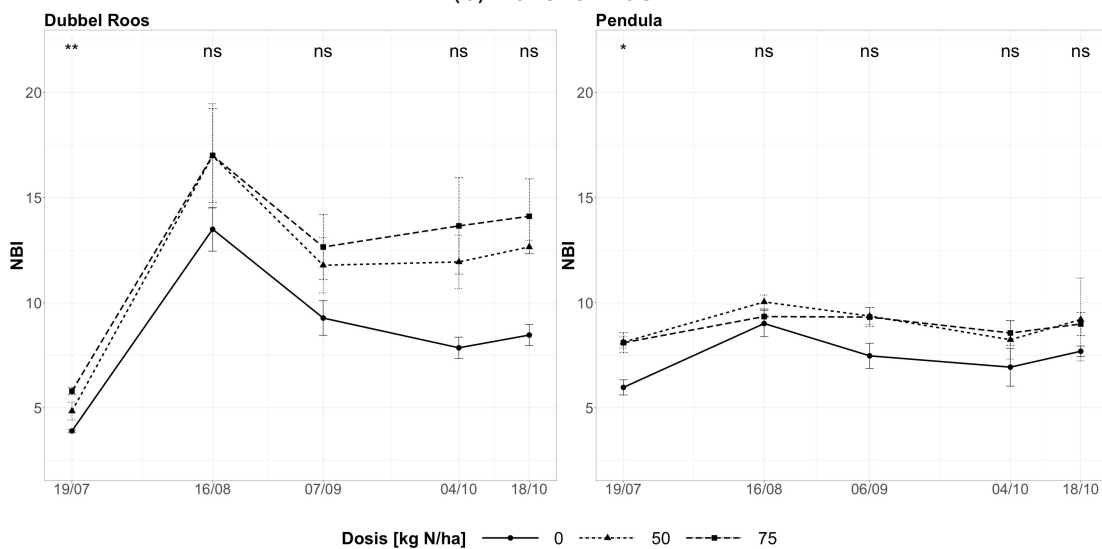
Voor beide cultivars was de flavonol index het hoogst in juli waarna deze bleef dalen gedurende het seizoen. Bij Dubbel Roos was deze daling sterker vroeger in het seizoen dan bij Pendula (Figuur 4.3b). Gemiddeld bedroeg de flavonol index van de standaardbemesting 2,34 voor Dubbel Roos. Enkel op 19 juli en 4 oktober was er een significant verschil tussen de bemestingsregimes (Figuur 4.3b). De gemiddelde flavonol index van de standaarddosis bedroeg 2,63 voor Pendula.



(a) Chlorofyl index



(b) Flavonol index



(c) NBI

Figuur 4.3: Effect van de stikstofbemesting op de chlorofyl index (a), flavonol index (b) en NBI (c) in de bladeren van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde ± se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen; * & **: significante verschillen met respectievelijk p < 0,05 & p < 0,01)

De laagste NBI werd waargenomen midden juli, waarna deze steeg tot de hoogste waarde op 16 augustus. Voor beide cultivars was de NBI op 7 september lichtjes gedaald waarna deze stabiliseerde voor de rest van het seizoen (Figuur 4.3c). De standaardbemesting (50 kg N/ha) van Dubbel Roos had een gemiddelde NBI van 11,64. Er werd over het seizoen geen significant verschil ($p=0.054$) gevonden tussen de bemestingstrappen. Op 19 juli was er wel een significant verschil tussen de dosissen (Figuur 4.3c). De standaarddosering had voor Pendula een gemiddelde NBI van 8,98. Er was over het volledige seizoen een significant verschil ($p= 0,002$) tussen de bemestingsregimes. Zowel de standaard als de dubbele bemesting (75 kg N/ha) waren significant hoger dan de nulbemesting. Op 19 juli was dit verschil het meest uitgesproken (Figuur 4.3c).

Correlatiestudie: indices op bladniveau t.o.v. stikstofgehalte in de bladeren

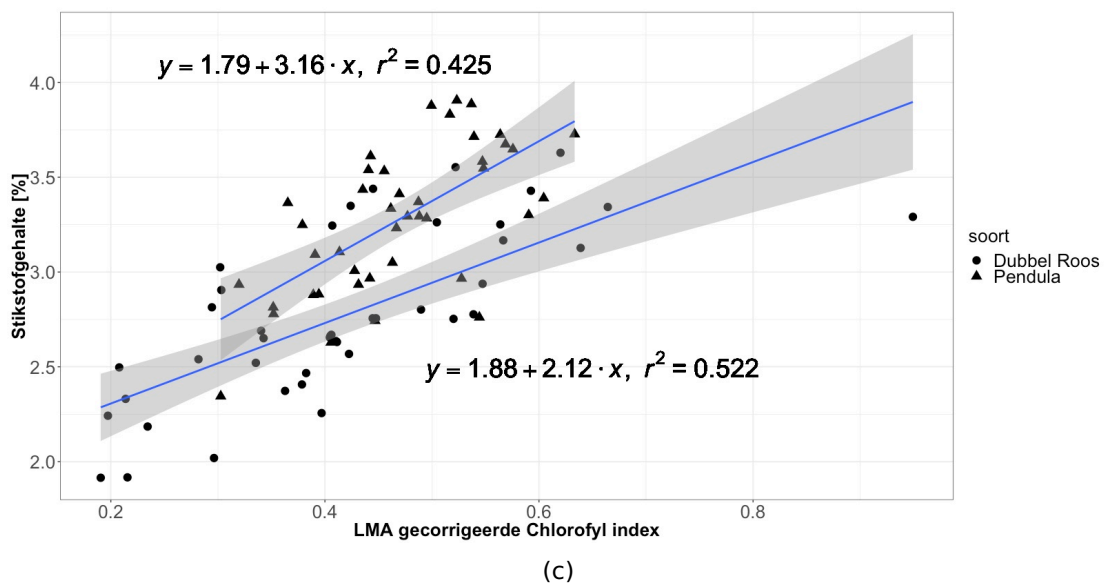
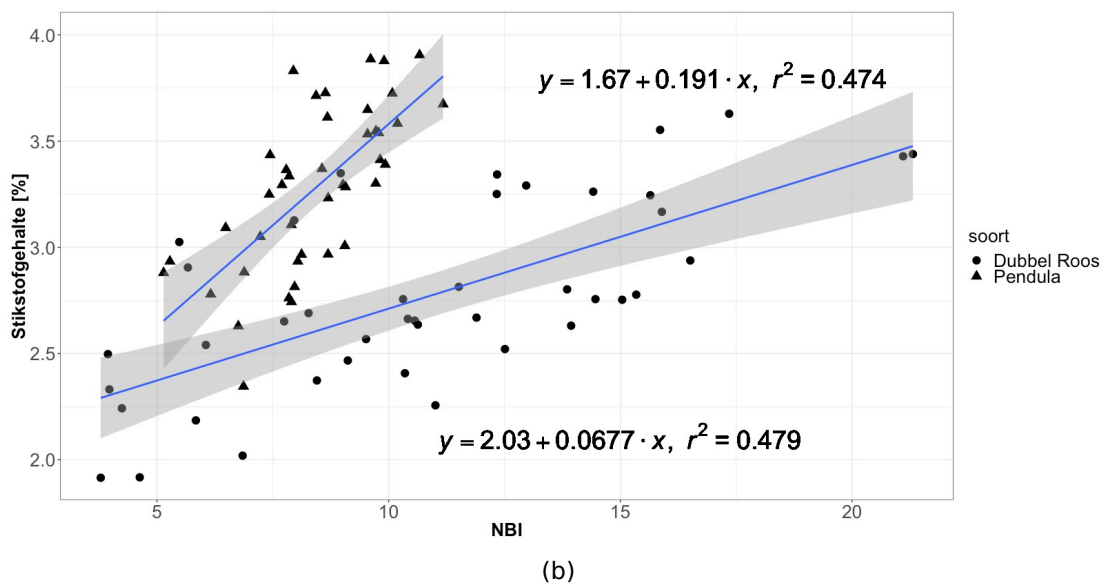
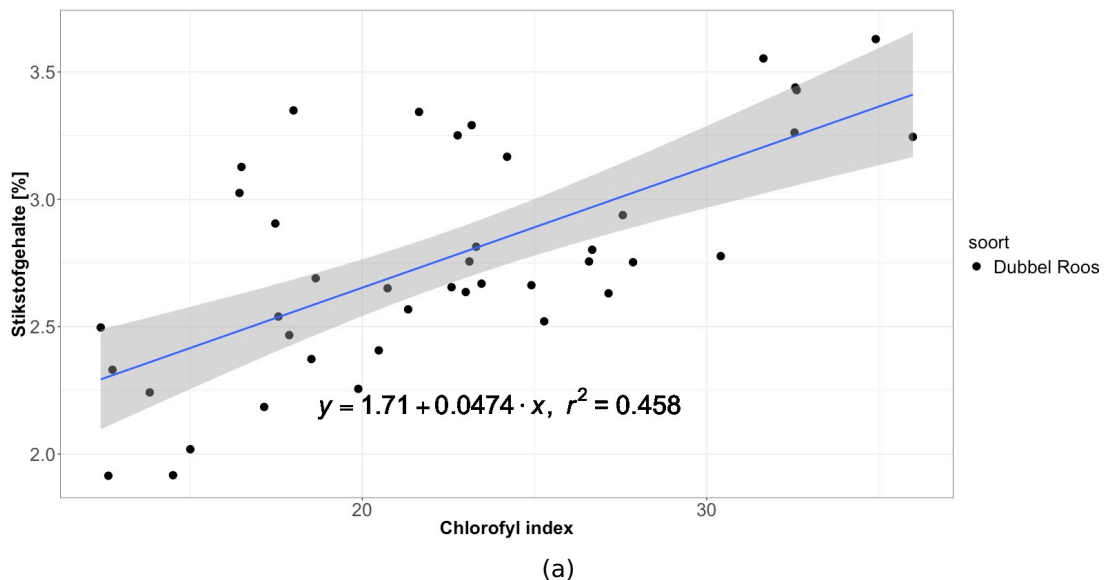
Er werd gezocht naar correlaties tussen het stikstofgehalte (%) in de bladstalen en de verschillende indices bepaald met de Dualex. Daarnaast werd de chlorofyl index ook gecorrigeerd voor het gewicht per oppervlakte-eenheid van de bladeren (LMA). In Tabel 4.1 worden de waarden van de lineaire regressies weergegeven, indien de determinatiecoëfficiënt (r^2) van de regressie groter is dan 0,4 wordt deze regressie ook in een figuur getoond. Met een r van 0,68 is de correlatie tussen het stikstofgehalte (%) en de chlorofyl index beduidend beter voor Dubbel Roos dan voor Pendula ($r = 0,43$) (Figuur 4.4a). Voor beide cultivars werd ook een zwakke, negatieve correlatie gevonden tussen de stikstofgehaltes (%) en de flavonol index ($r = -0,48$ & $r = -0,38$).

Er werd voor zowel Dubbel Roos als Pendula een positieve correlatie gevonden tussen het stikstofgehalte (%) en de NBI (Figuur 4.4b).

Ten slotte werd er voor de twee cultivars een positieve correlatie gevonden tussen het stikstofgehalte en de LMA-gecorrigeerde chlorofyl index (Figuur 4.4c). Deze correlatie was gelijkaardig aan die met de NBI. Daarnaast bestond er een positieve correlatie tussen de flavonol index en de LMA ($r = 0,51$ & $0,73$).

Tabel 4.1: Coëfficiënten van de lineaire regressies en de Pearson's correlatie coëfficiënt (PCC) tussen het stikstofgehalte (%) in het blad en de indices op bladniveau voor knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula.

Indices		N(%) = a + bx		PCC	
		a	b	r	p
Dubbel Roos	Chlorofyl index	1,71	0,047	0,68	<0,001
	Flavonol index	3,88	-0,46	-0,48	1,24E-03
	NBI	2,03	0,068	0,69	<0,001
	LMA-Chlorofyl index	1,88	2,12	0,72	<0,001
Pendula	Chlorofyl index	2,19	0,05	0,43	4,21E-03
	Flavonol index	4,97	-0,64	-0,38	1,35E-02
	NBI	1,67	0,19	0,69	<0,001
	LMA-Chlorofyl index	1,79	3,16	0,65	<0,001

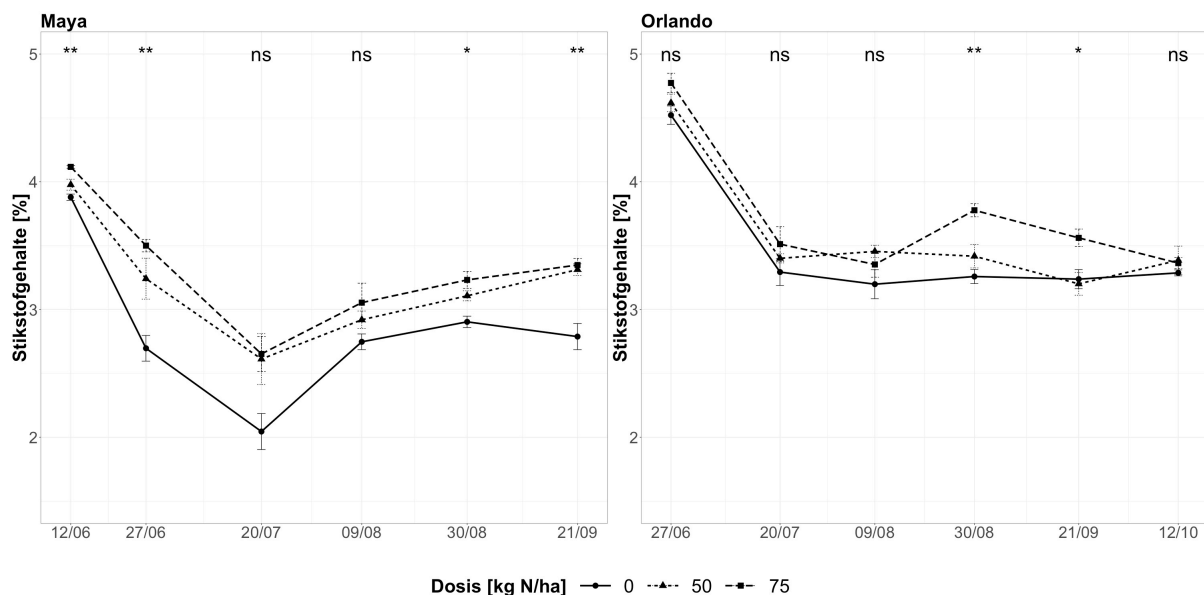


Figuur 4.4: Stikstofgehalte (%) in het blad in functie van de indices op bladniveau van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula

4.1.2 Chrysant

Stikstofanalyse van de bladstalen

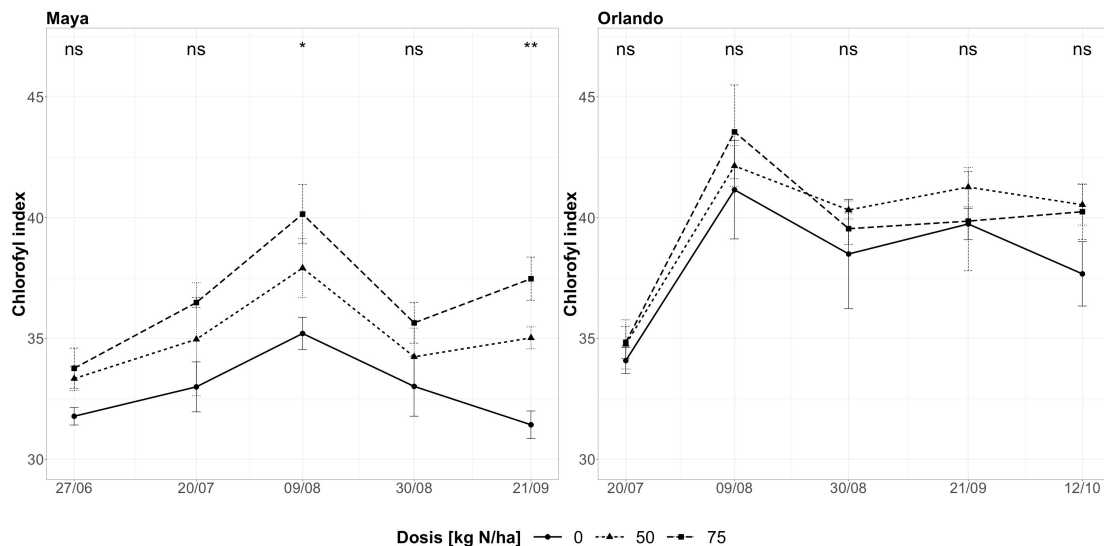
Op 12 juni bedroeg het stikstofgehalte (%) voor beide cultivars meer dan 4 %, want het waren nog jonge stekjes die het stikstofgehalte hadden van de moederplant. Daarna daalde het stikstofgehalte tot een minimum op 20 juli. Voor Maya stegen de waarden nog lichtjes, terwijl deze bij Orlando ongeveer constant bleven (Figuur 4.5). Voor Maya bedroeg het gemiddelde stikstofgehalte van de standaardbemesting (50 kg N/ha) 3,2 %. Over het hele seizoen werd een significant verschil ($p=0,02$) gevonden tussen de bemestingsdosissen, in het bijzonder tussen de dubbele bemesting (75 kg N/ha) en de nulbemesting. Dit verschil was het duidelijkst op 12 juni, 27 juni, 30 augustus en 21 september (Figuur 4.5). Het gemiddelde van de standaardbemesting bedroeg 3,6 % voor Orlando. Enkel op 30 augustus en 21 september bestond er wel een significant verschil tussen de dosissen (Figuur 4.5).



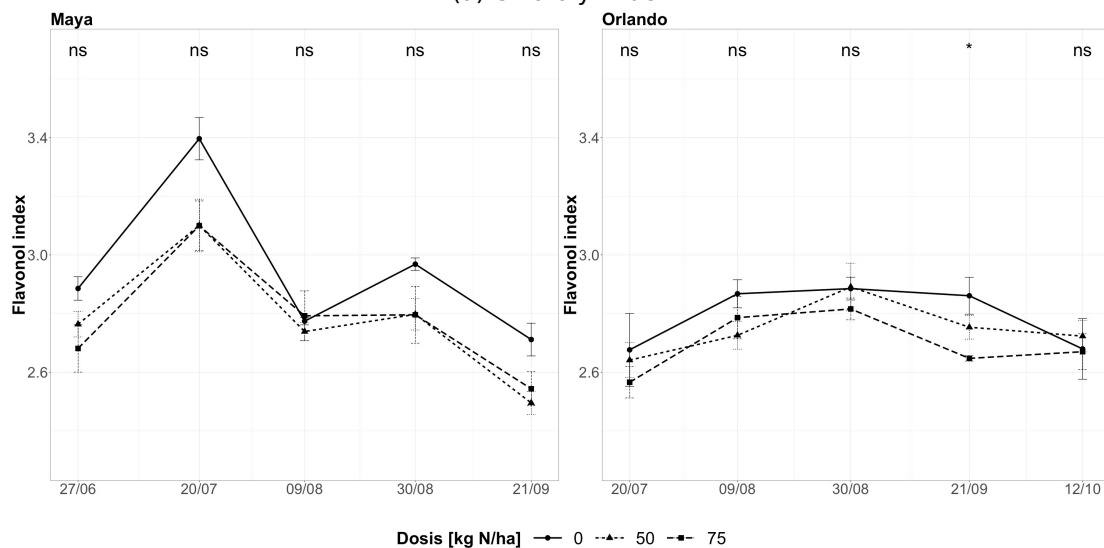
Figuur 4.5: Effect van de stikstofbemesting op het stikstofgehalte (%) in de bladeren van chrysant cultivars Maya (gemiddelde \pm se, $n = 3$) (ns = niet-significante verschillen; * & ** = significante verschillen met respectievelijk $p < 0,05$ & $p < 0,01$)

Seizoensverloop van de indices op bladniveau

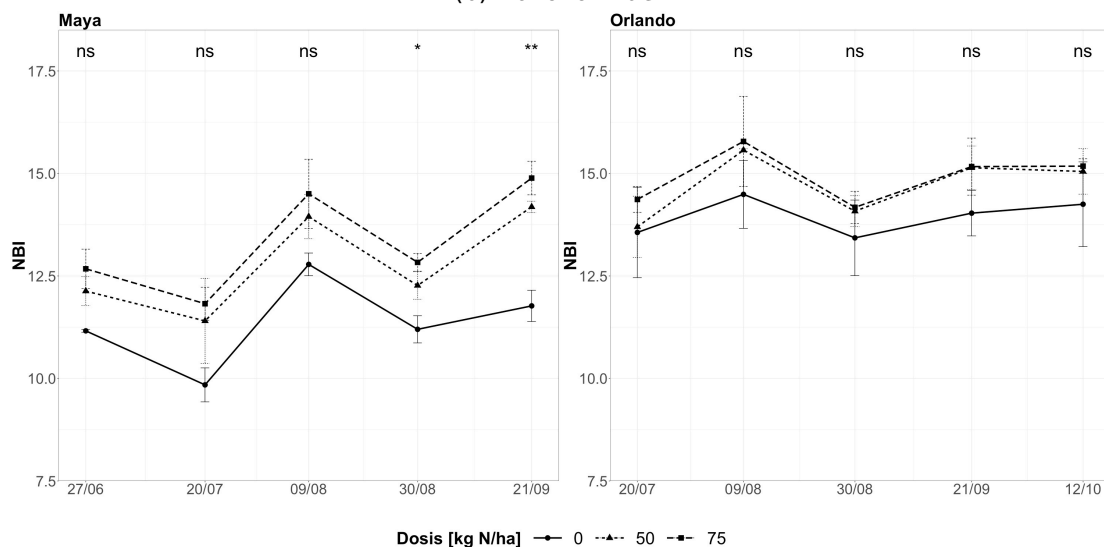
Voor beide cultivars was de chlorofyl index het laagst in het begin van het seizoen, gevolgd door een maximum begin augustus. Na een lichte daling, stabiliseerden de waarden tot eind oktober (Figuur 4.6a). De gemiddelde chlorofyl index van de standaardbemesting (50 kg N/ha) bedroeg 35,1 voor Maya en 39,8 voor Orlando. Over het volledige groeiseizoen was er voor Maya een significant verschil tussen de bemestingstrappen ($p < 0,001$). De nulbemesting was beduidend lager dan de overige dosissen. Op 9 augustus en 21 september waren deze verschillen het meest uitgesproken (Figuur 4.6a).



(a) Chlorofyl index



(b) Flavonol index



(c) NBI

Figuur 4.6: Effect van de stikstofbemesting op de chlorofyl index (a), flavonol index (b) en NBI (c) in de bladeren van chrysant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde ± se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen; * & **: significante verschillen met respectievelijk p < 0,05 & p < 0,01)

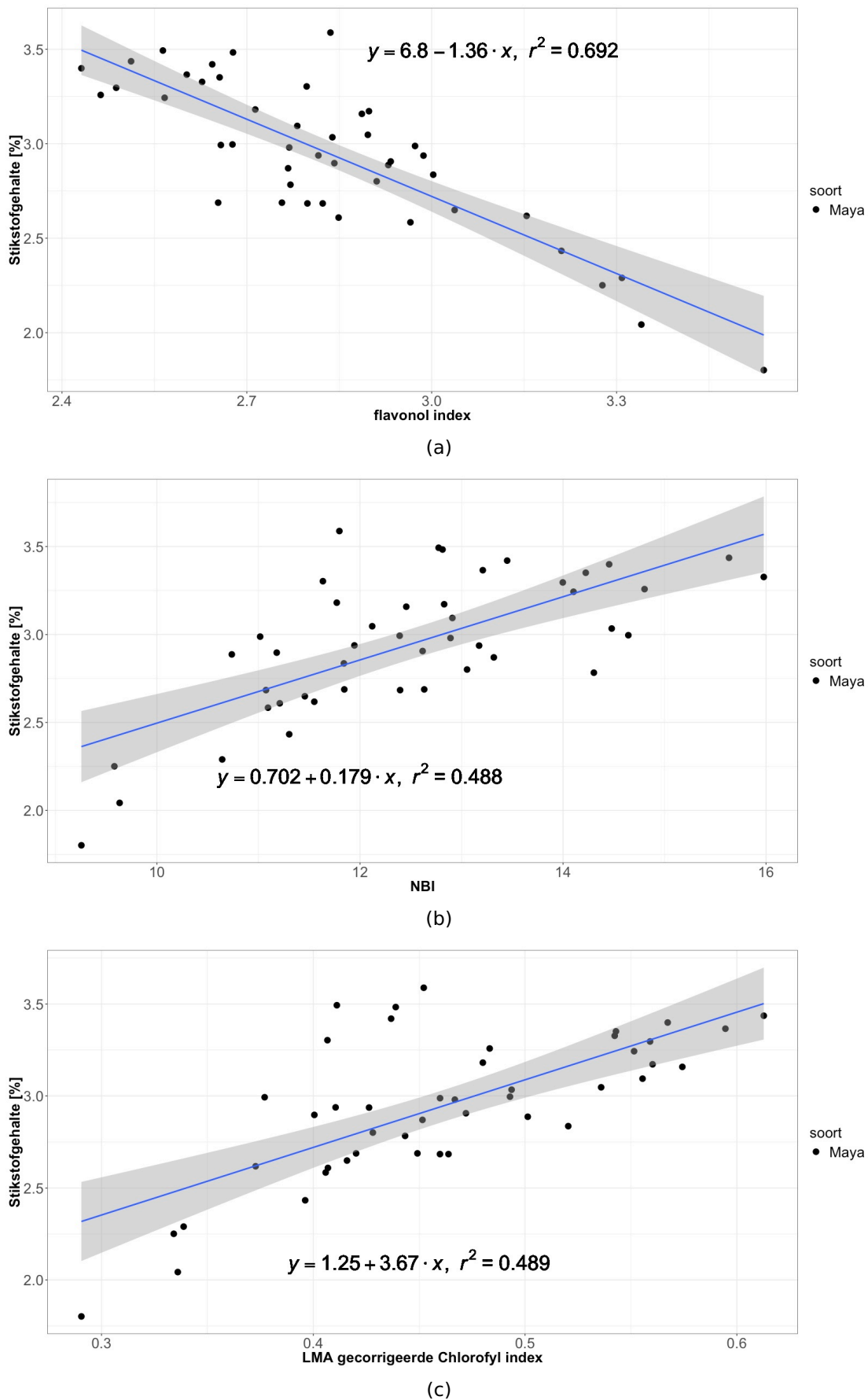
Voor Maya werd een maximale flavonol index waargenomen op 20 juli, voor Orlando op 30 augustus (Figuur 4.6b). De gemiddelde flavonol index van de standaarddosis (50 kg N/ha) bedroeg 2,78 voor Maya en 2,75 voor Orlando. Enkel op 21 september bestond er een significant verschil tussen de dosissen voor Orlando (Figuur 4.6b). Voor Maya kende de NBI twee maxima op 9 augustus en 21 september terwijl er voor Orlando enkel op 9 augustus een maximum was (Figuur 4.6c). De gemiddelde NBI van de standaardbemesting bedroeg 12,79 voor Maya en 14,71 voor Orlando. Over het volledige groeiseizoen werd voor Maya een significant verschil gevonden tussen de bemestingstrappen ($p < 0,001$) waarbij de nulbemesting significant lager was dan de overige dosissen. Dit verschil was het sterkst uitgesproken op 30 augustus en 21 september (Figuur 4.6c).

Correlatiestudie: indices op bladniveau t.o.v. stikstofgehalte in de bladeren

Er werden correlaties gezocht tussen het stikstofgehalte (%) in de bladeren en de indices bepaald met de Dualex in de periode tussen 27 juni en 21 september voor Maya en tussen 20 juli en 12 oktober voor Orlando. Daarnaast werd de chlorofyl index ook gecorrigeerd voor het gewicht per oppervlakte-eenheid van de bladeren (LMA). In Tabel 4.2 worden de waarden van de lineaire regressies weergegeven, indien de determinatiecoëfficiënt (R^2) van de regressie groter was dan 0,4 wordt deze ook weergegeven in een figuur. Voor beide cultivars werden er geen significante correlaties gevonden tussen het stikstofgehalte (%) en de chlorofyl index. Met een r van -0,83 werd voor Maya een sterke, negatieve correlatie gevonden tussen het stikstofgehalte (%) en de flavonol index. Voor Orlando werd er geen significante correlatie gevonden (Figuur 4.7a). Opnieuw werd enkel voor Maya een positieve correlatie ($r = 0,70$) gevonden tussen het stikstofgehalte (%) en de NBI (Figuur 4.7b). Ten slotte werd er voor Maya een positieve correlatie ($r = 0,70$) gevonden tussen het stikstofgehalte (%) en de LMA-gecorrigeerde chlorofyl index die sterk leek op die met de NBI (Figuur 4.7c). Voor Orlando werd een zwakke correlatie gevonden ($r = 0,30$). Daarnaast bestond er enkel voor Maya een positieve correlatie tussen de flavonol index en de LMA ($r = 0,69$).

Tabel 4.2: Coëfficiënten van de lineaire regressies en de Pearson's correlatie coëfficiënt (PCC) tussen het stikstofgehalte (%) in het blad en de indices op bladniveau voor chrysant cultivars Maya en Orlando.

Indices		N(%) = a + bx		PCC	
		a	b	r	p
Maya	Chlorofyl index	1,52	0,04		n.s.
	Flavonol index	6,80	-1,36	-0,83	<0,001
	NBI	0,70	0,18	0,70	<0,001
	LMA-Chlorofyl index	1,25	3,67	0,70	<0,001
Orlando	Chlorofyl index	3,14	0,006		n.s.
	Flavonol index	4,51	-0,41		n.s.
	NBI	2,83	0,038		n.s.
	LMA-Chlorofyl index	2,89	0,76	0,30	4,18E-02



Figuur 4.7: Stikstofgehalte (%) in het blad in functie van de indices op bladniveau van chry-sant cultivar Maya

4.2 Metingen op gewasniveau

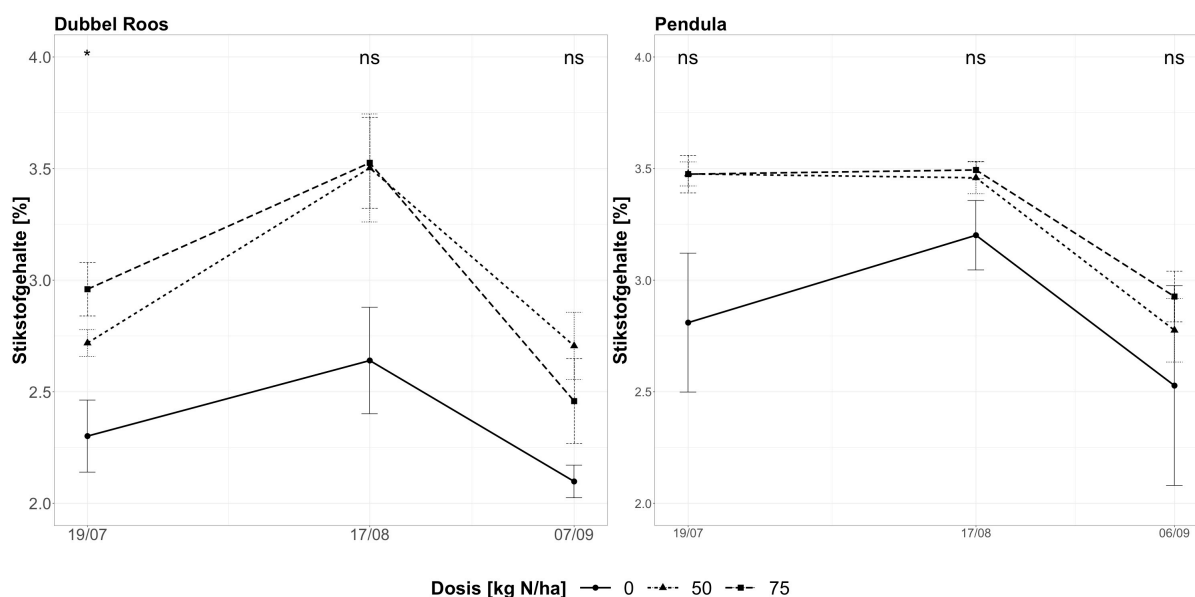
4.2.1 Knolbegonia

Stikstofanalyse van de volledige planten

Voor beide cultivars was het stikstofgehalte van de volledige planten maximaal op 17 augustus (Figuur 4.8).

Voor Dubbel Roos bedroeg het gemiddelde stikstofgehalte van de standaardbemesting (50 kg N/ha) 2,98 %. Over het volledige seizoen bestond er een significant verschil ($p=0,012$) tussen de bemestingstrappen. Zowel de standaard als de dubbele bemesting (75 kg N/ha) waren significant hoger dan de nulbemesting. Het verschil was het meest uitgesproken op 19 juli (Figuur 4.8).

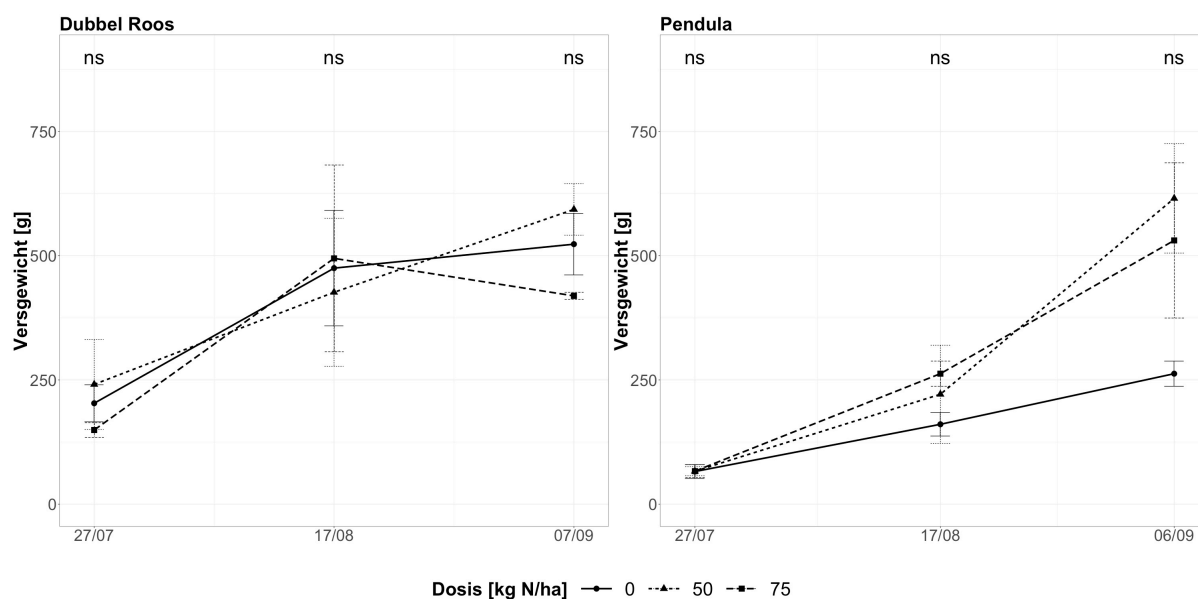
Bij Pendula was het stikstofgehalte van de standaardbemesting gemiddeld 3,24 %. Over het volledige groeiseizoen was er een significant verschil tussen de bemestingsregimes ($p=0,049$).



Figuur 4.8: Effect van de stikstofbemesting op het stikstofgehalte (%) in de plantstelen van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, $n = 3$) (ns = niet-significante verschillen; * = significante verschillen met respectievelijk $p < 0,05$)

Seizoensverloop van de biomassa

Het versgewicht was op 27 juli het laagst voor de twee cultivars waarna het bleef stijgen tot het einde van het seizoen (Figuur 4.9). Het versgewicht van de standaardbemesting (50 kg N/ha) bedroeg gemiddeld 420,27 g voor Dubbel Roos en 300,99 g voor Pendula.



Figuur 4.9: Effect van de stikstofbemesting op het versgewicht (g) van de plantstelen van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, $n = 3$) (ns = niet-significante verschillen met respectievelijk $p > 0,05$)

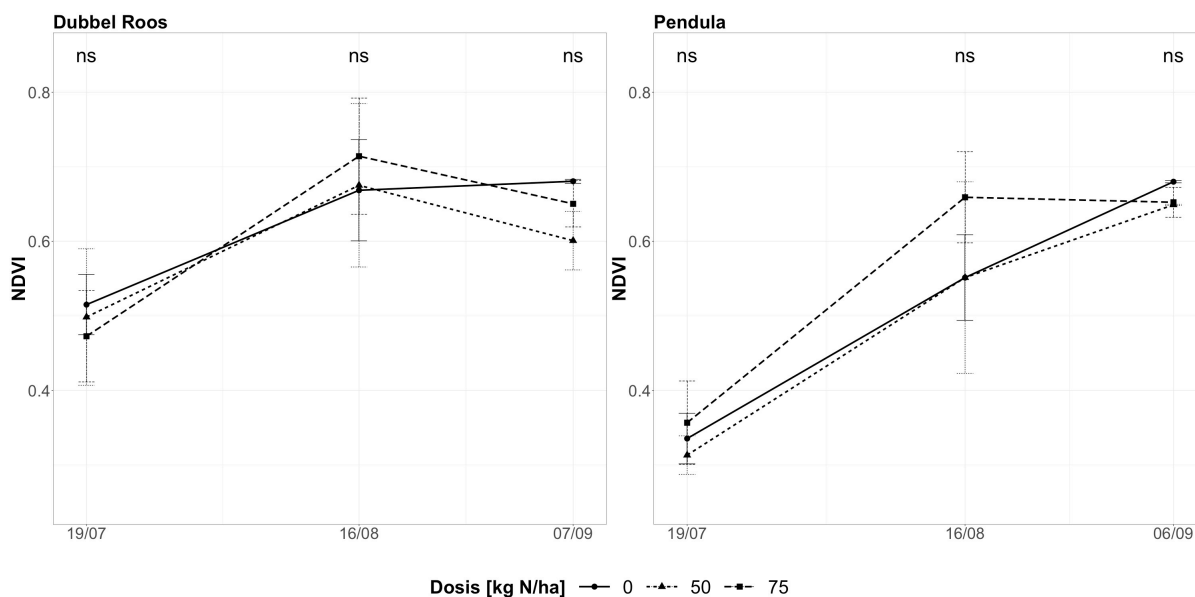
Seizoensverloop NDVI GreenSeeker

Voor Dubbel Roos was de NDVI het laagst op 19 juli, gevolgd door een maximum op 16 augustus. Daarna daalden de NDVI-waarden lichtjes op 7 september, behalve voor nulbemesting die toen pas zijn maximale waarde bereikte. Voor Pendula stegen de NDVI-waarden gedurende het groeiseizoen met een maximum op 6 september, behalve voor de dubbele dosis (75 kg N/ha) die zijn maximum al op 16 augustus bereikte (Figuur 4.10). Gemiddeld bedroeg de NDVI van de standaardbemesting (50 kg N/ha) 0,60 voor Dubbel Roos en 0,51 voor Pendula.

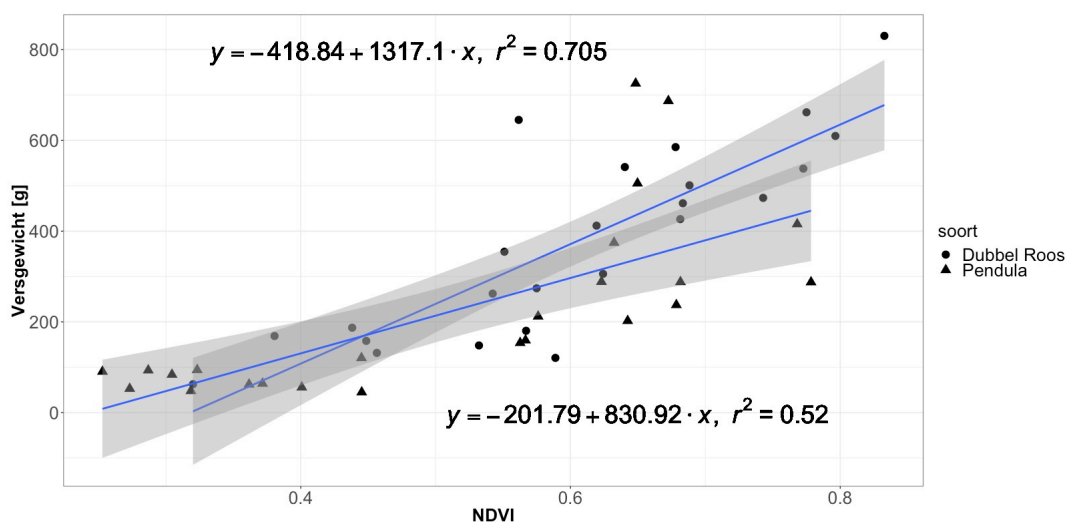
Voor zowel Dubbel Roos als Pendula werd er geen significante correlatie gevonden tussen de NDVI en het stikstofgehalte (%) in de bovenste bladeren. Ook wanneer het stikstofgehalte (%) in de volledige plant werd vergeleken met de NDVI werden geen significante correlaties waargenomen.

Correlatiestudie: NDVI t.o.v. versgewicht van de volledige planten

Voor zowel Dubbel Roos ($r = 0,84$; $p < 0,001$) als Pendula ($r = 0,72$; $p < 0,001$) werd een significante, positieve correlatie gevonden tussen de NDVI en de biomassa van de volledige planten (Figuur 4.11).



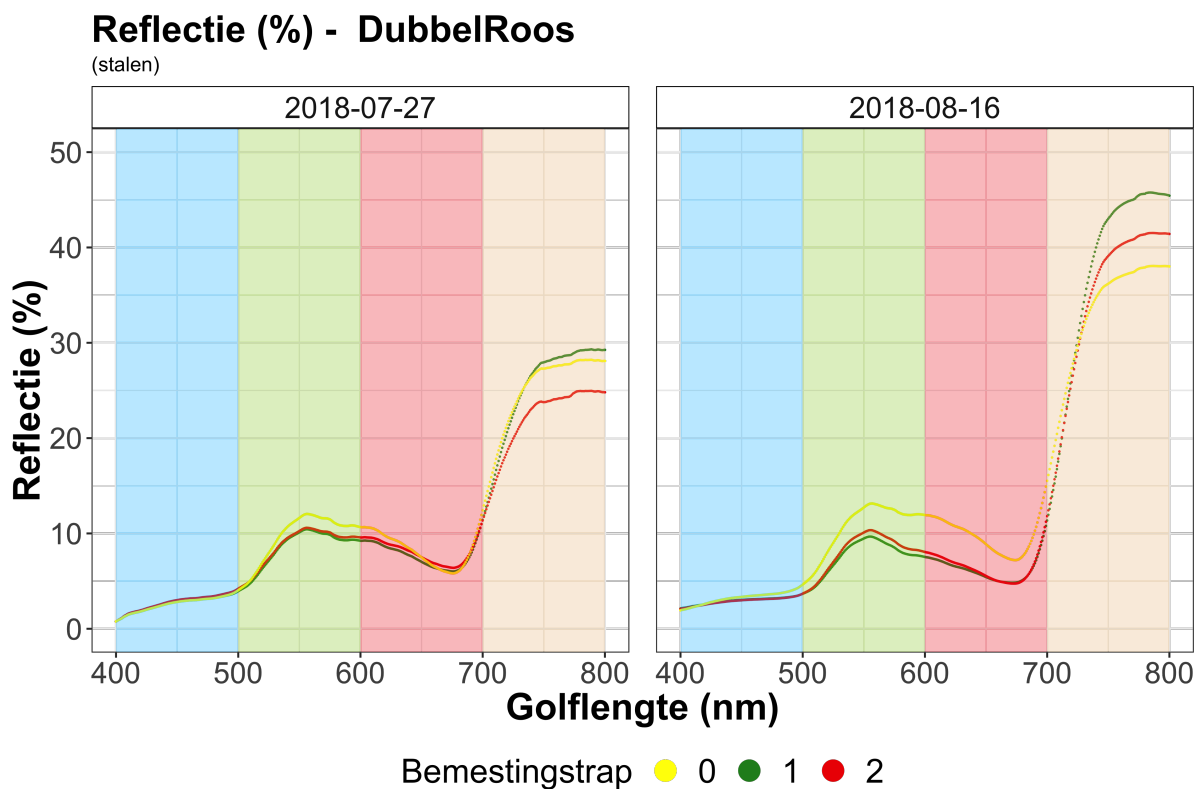
Figuur 4.10: Effect van de stikstofbemesting op de NDVI-waarden van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, $n = 3$) (ns = niet-significante verschillen; * = significante verschillen met $p < 0,05$)



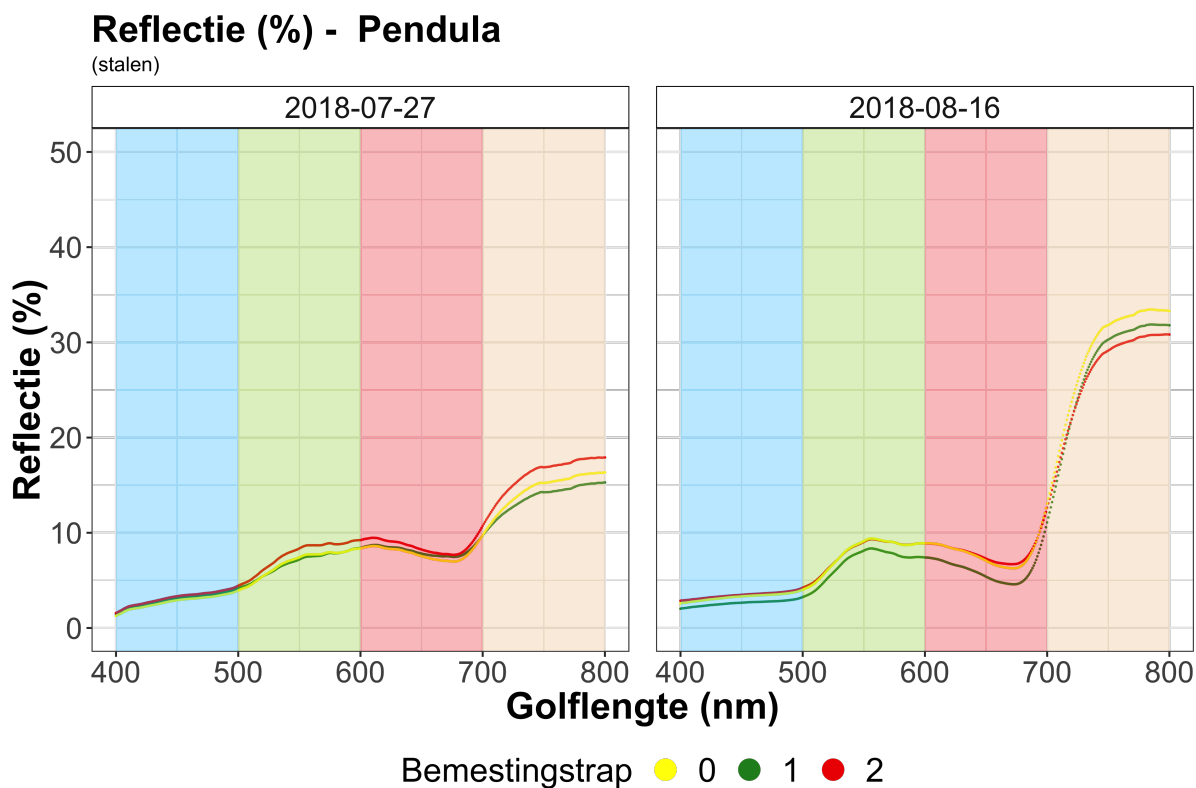
Figuur 4.11: Vergewicht van de plantstalen in functie van de NDVI-waarden van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula

Seizoensverloop gewasreflectie Apogee SS-110

Met de Apogee sensor werd de reflectie van het gewas tussen 340 en 820 nm opgemeten gedurende het groeiseizoen (Figuren 4.12 & 4.13). Het typisch verloop van de gewasreflectie werd waargenomen met een lokaal maximum rond 550 nm in het groen licht en een algemeen maximum in het NIR licht. Het verschil tussen de bemestingstrappen was duidelijk zichtbaar in het rode en NIR deel van het lightspectrum onder andere in de reflectie van het NIR licht en de golflengte van het omslagpunt. Ook gedurende het groeiseizoen waren deze verschillen in het rode en NIR spectrum waarneembaar.



Figuur 4.12: Seizoensverloop gewasreflectie voor begonia cultivar Dubbel Roos met bemestingstrap 0 = 0; 1 = 50; 2 = 75 kg N/ha



Figuur 4.13: Seizoensverloop gewasreflectie voor begonia cultivar Pendula met bemestingstrap 0 = 0; 1 = 50; 2 = 75 kg N/ha

Correlatiestudie: Vegetatie-indices Apogee SS-110

Een overzicht van de correlaties tussen de onderzochte vegetatie-indices en respectievelijk het stikstofgehalte (%) en het versgewicht is weergegeven in Tabel 4.3, terwijl de determinatiecoëfficiënten (r^2 en p-waarden) van de lineaire regressie zijn weergegeven in Tabel 4.4. Indien er een significant verschil werd gevonden tussen de bemestingstrappen over het volledige seizoen wordt dit weergegeven in de kolom "tijd". Voor de vier meest relevante vegetatie-indices wordt ook het seizoensverloop en de significante correlaties tussen deze indices en het stikstofgehalte (%) en versgewicht grafisch weergegeven.

Tabel 4.3: Pearson's correlatie coëfficiënten en p-waarden tussen de vegetatie-indices en zowel het stikstofgehalte als het versgewicht van de volledige planten voor knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula

	Dubbel Roos				Pendula			
	N(%)		VG(g)		N(%)		VG(g)	
	r	p	r	p	r	p	r	p
NDVI		ns	0,72	<0,001		ns	0,77	<0,001
NPCI	-0,60	8,45E-03	-0,73	<0,001		ns	-0,78	<0,001
ChINDI	0,56	1,60E-02	0,70	1,18E-03		ns	0,77	<0,001
RENDVI	0,61	7,31E-03	0,69	1,41E-03		ns	0,78	<0,001
OSAVI		ns	0,67	2,16E-03		ns	0,79	<0,001
OSAVI2	0,53	2,51E-02	0,73	<0,001		ns	0,77	<0,001
TCARI		ns	0,48	4,45E-02		ns	0,74	<0,001
TCARI2		ns	0,48	4,42E-02		ns	0,73	<0,001
SR		ns	0,84	<0,001		ns	0,85	<0,001
SRPI	0,59	1,03E-02	0,75	<0,001		ns	0,79	<0,001
REIP1	0,64	3,99E-03		ns	0,56	1,54E-02		ns
REIP2	0,63	5,35E-03		ns	0,50	3,50E-02		ns
REIP3	0,63	4,68E-03		ns	0,50	3,39E-02		ns
DCI	0,66	2,81E-03	0,69	1,40E-03		ns	0,74	<0,001

Tabel 4.4: Determinatiecoëfficiënten (r^2) en p-waarden van de lineaire regressies tussen de vegetatie-indices en zowel het stikstofgehalte als het versgewicht van de volledige planten voor knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (ns = niet-significant; * & ** = significant met $p < 0,05$ & $p < 0,01$)

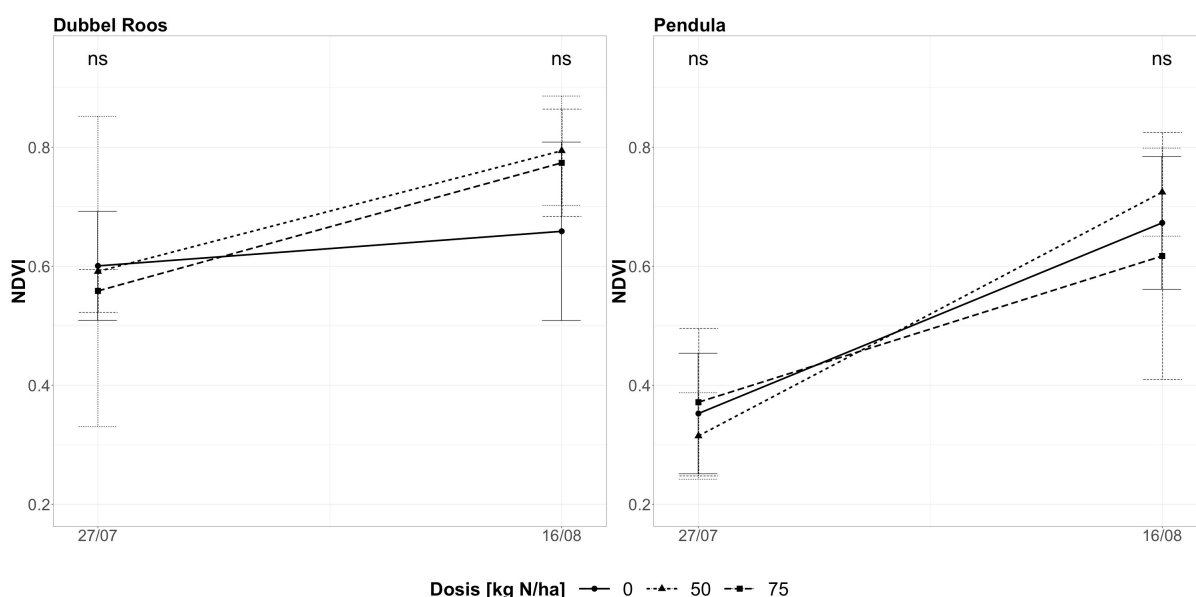
	Dubbel Roos	N(%)		VG(g)		Pendula	N(%)		VG(g)	
	tijd	r^2	p	r^2	p	tijd	r^2	p	r^2	p
NDVI	ns		ns	0,52	<0,001	ns		ns	0,598	<0,001
NPCI	ns	0,36	8,45E-03	0,53	<0,001	ns		ns	0,607	<0,001
ChINDI	ns	0,31	1,60E-02	0,49	1,18E-03	ns		ns	0,59	<0,001
RENDVI	ns	0,37	7,31E-03	0,48	1,41E-03	ns		ns	0,602	<0,001
OSAVI	ns		ns	0,45	2,16E-03	ns		ns	0,62	<0,001
OSAVI2	ns	0,28	2,51E-02	0,54	<0,001	ns		ns	0,591	<0,001
TCARI	ns		ns	0,23	4,45E-02	ns		ns	0,549	<0,001
TCARI2	ns		ns	0,23	4,42E-02	ns		ns	0,527	<0,001
SR	ns		ns	0,70	<0,001	ns		ns	0,715	<0,001
SRPI	ns	0,35	1,03E-02	0,56	<0,001	ns		ns	0,618	<0,001
REIP1	**	0,41	3,99E-03		ns	ns	0,315	1,54E-02		ns
REIP2	**	0,39	5,35E-03		ns	ns	0,249	3,50E-02		ns
REIP3	**	0,40	4,68E-03		ns	ns	0,252	3,39E-02		ns
DCI	ns	0,44	2,81E-03	0,48	1,40E-03	ns		ns	0,544	<0,001

Op 16 augustus was de NDVI telkens hoger dan op 27 juli (Figuur 4.14). De gemiddelde NDVI van de standaardbemesting (50 kg N/ha) bedroeg voor Dubbel Roos 0,69 en voor Pendula 0,52. Voor zowel Dubbel Roos ($r = 0,72$) als Pendula ($r = 0,77$) werd een positieve correlatie gevonden tussen de biomassa en de NDVI (Figuur 4.15)

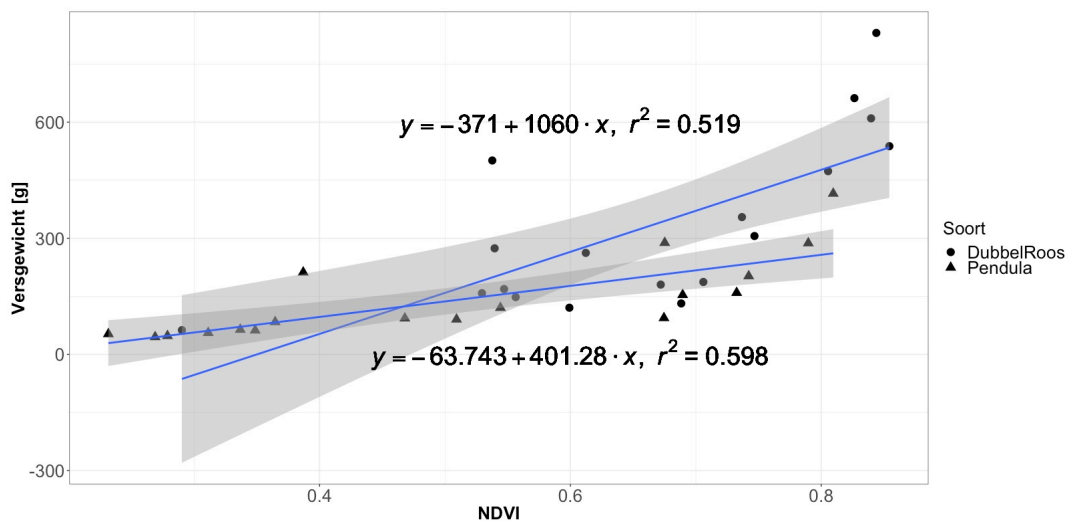
De SR was voor de twee cultivars hoger op 16 augustus dan op 27 juli (Figuur 4.16). De gemiddelde SR van de standaardbemesting (50 kg N/ha) bedroeg 8,55 voor Dubbel Roos en 4,94 voor Pendula. Er werd een positieve correlatie gevonden tussen de biomassa en de SR voor Dubbel Roos ($r = 0,84$) en voor Pendula ($r = 0,85$) (Figuur 4.17).

Het REIP bevond zich op 16 augustus op een hogere golflengte dan op 27 juli (Figuur 4.18). Het REIP van de standaardbemesting (50 kg N/ha) lag voor Dubbel Roos gemiddeld op 718,12 nm en voor Pendula op 715,44 nm. Over de twee meetdata werd voor Dubbel Roos een significant verschil ($p = 0,0076$) gevonden, meer specifiek was de standaarddosis significant hoger dan de nulbemesting. Dit verschil was het meest uitgesproken op 16 augustus (Figuur 4.18). Voor Dubbel Roos ($r = 0,64$) en Pendula ($r = 0,56$) werd een positieve correlatie gevonden tussen het stikstofgehalte van de volledige planten en het REIP (Figuur 4.19).

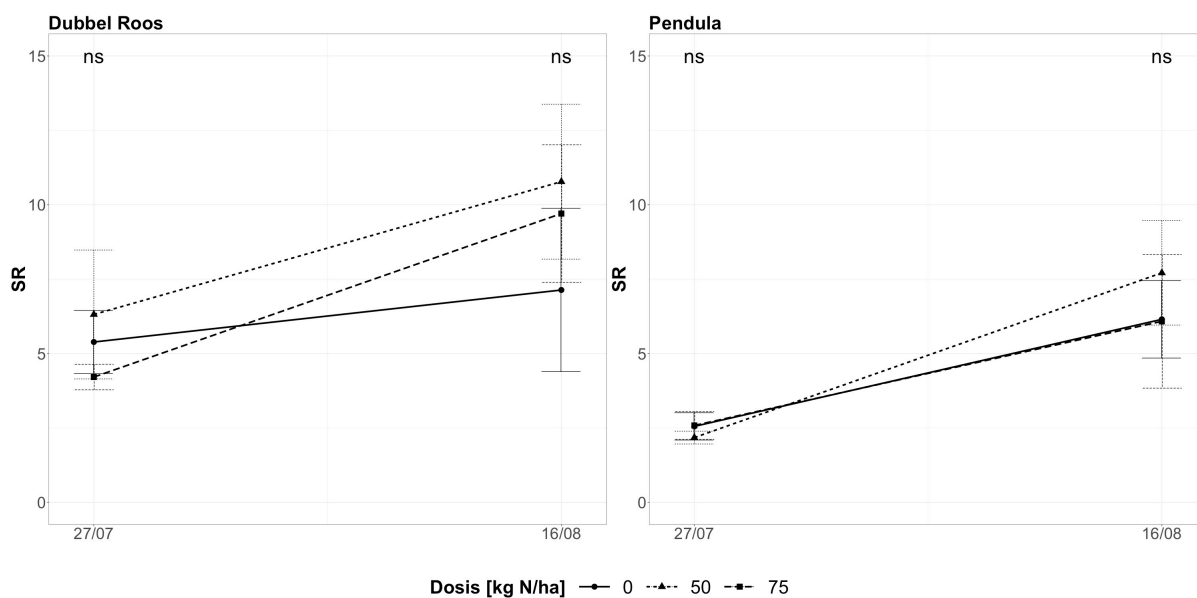
Voor beide cultivars was de DCI hoger op 16 augustus dan op 27 juli (Figuur 4.20). De gemiddelde DCI van de standaarddosis (50 kg N/ha) was 0,80 voor Dubbel Roos en 0,43 voor Pendula. Enkel op 16 augustus werd voor Dubbel Roos een significant verschil gevonden tussen de bemestingstrappen (Figuur 4.20). Tussen de biomassa en de DCI werd voor Dubbel Roos ($r = 0,69$) en voor Pendula ($r = 0,74$) een positieve correlatie gevonden (Figuur 4.22). Tussen het stikstofgehalte van de volledige planten en de DCI werd enkel voor Dubbel Roos ($r = 0,66$) een positieve correlatie gevonden (Figuur 4.21).



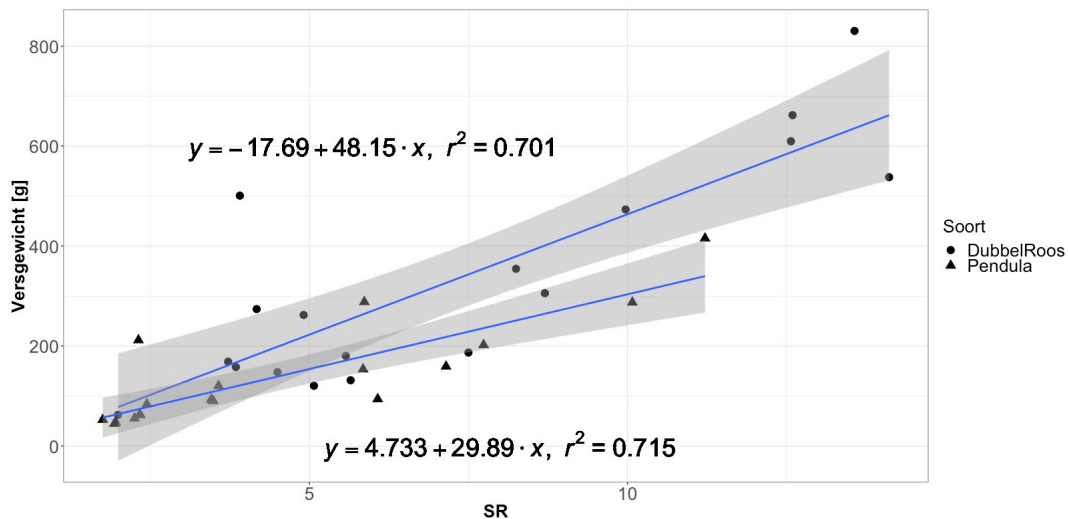
Figuur 4.14: Effect van de stikstofbemesting op de NDVI van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, $n = 3$) (ns = niet-significante verschillen met respectievelijk $p > 0,05$)



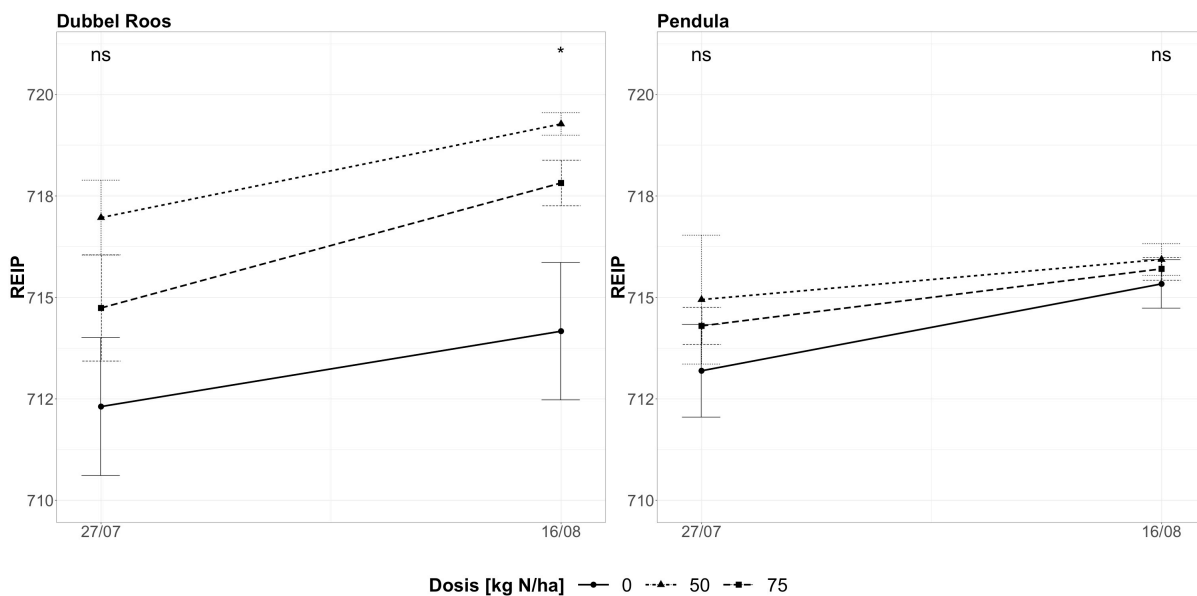
Figuur 4.15: Biomassa (versgewicht) in functie van de NDVI van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula



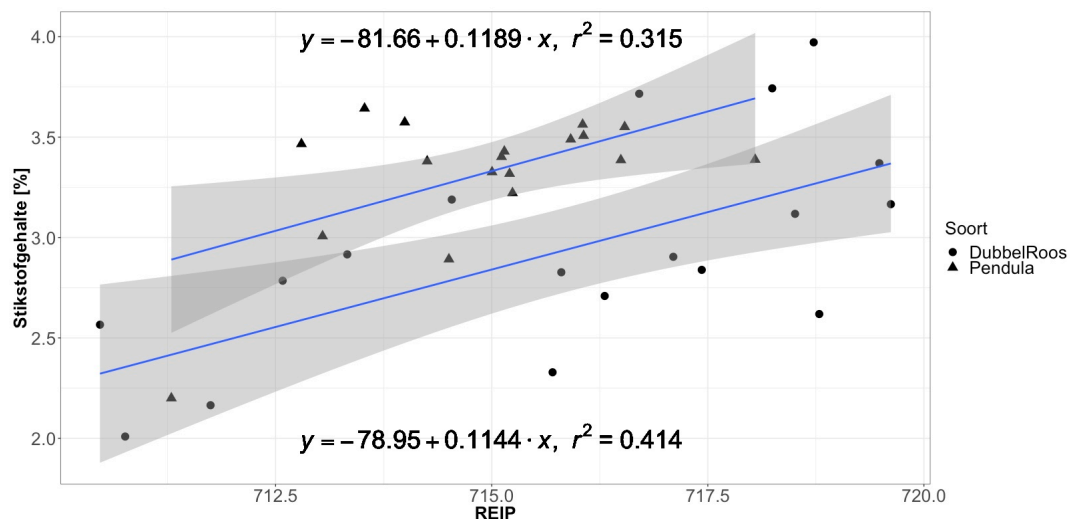
Figuur 4.16: Effect van de stikstofbemesting op de SR van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen met respectievelijk $p > 0,05$)



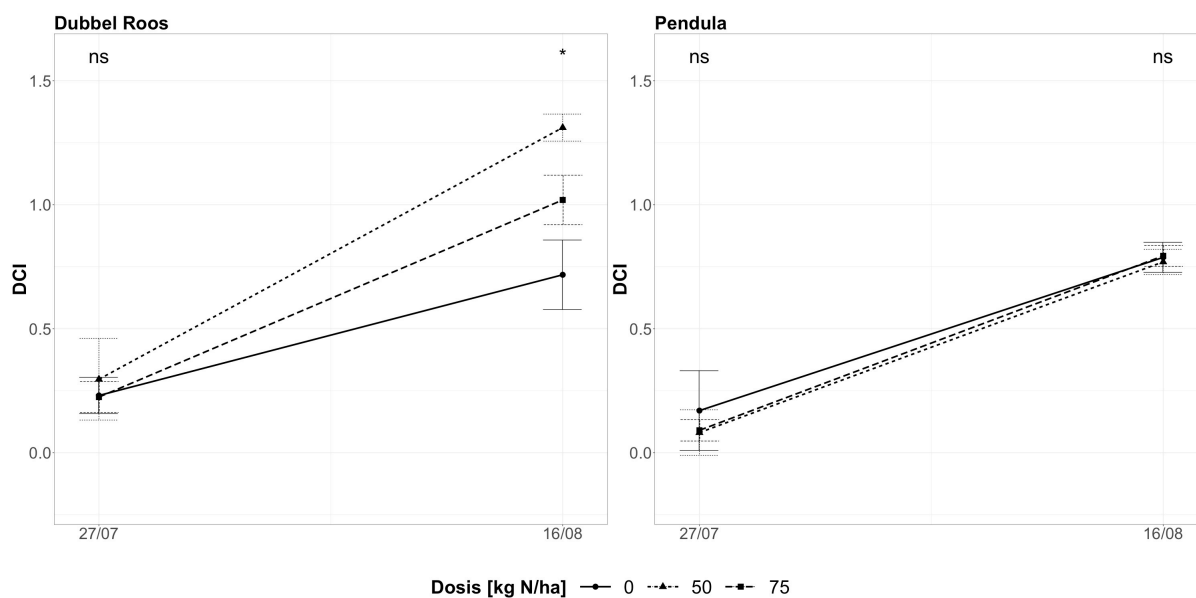
Figuur 4.17: Biomassa (versgewicht) in functie van de SR van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula



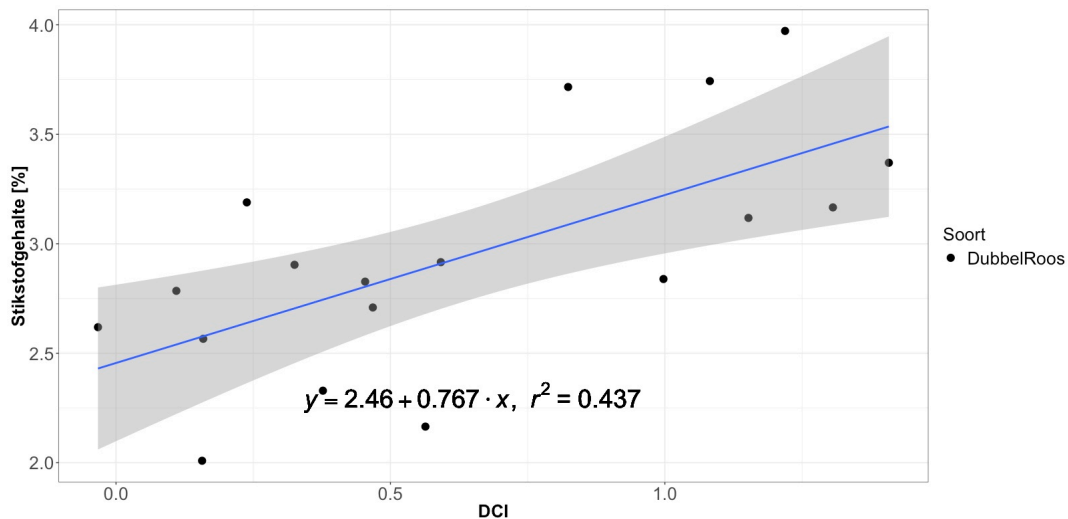
Figuur 4.18: Effect van de stikstofbemesting op het REIP van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde ± se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen; * = significante verschillen met $p < 0,05$)



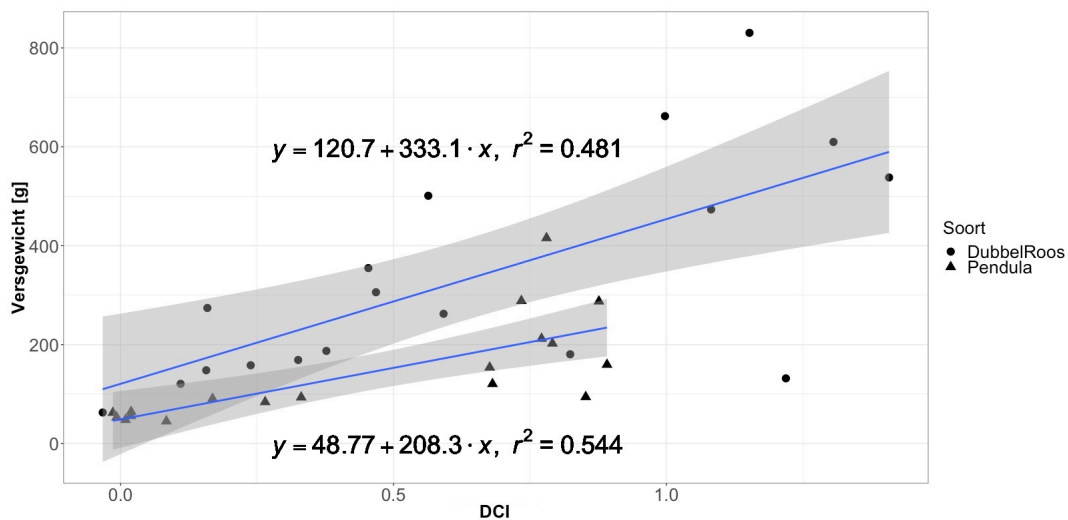
Figuur 4.19: Stikstofgehalte (%) in functie van het REIP van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula



Figuur 4.20: Effect van de stikstofbemesting op de DCI van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula (gemiddelde \pm se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen; * = significante verschillen met $p < 0,05$)



Figuur 4.21: Stikstofgehalte (%) in functie van de DCI van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula

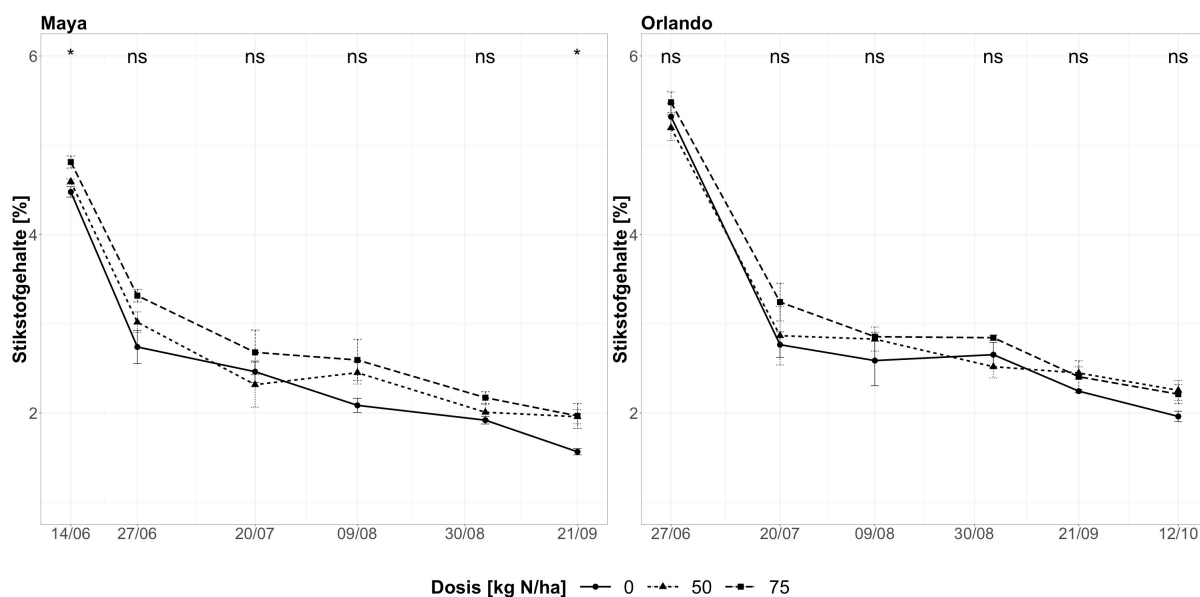


Figuur 4.22: Biomassa (versgewicht) in functie van de DCI van knolbegonia cultivars Dubbel Roos en Pendula

4.2.2 Chryasant

Stikstofanalyse van de volledige planten

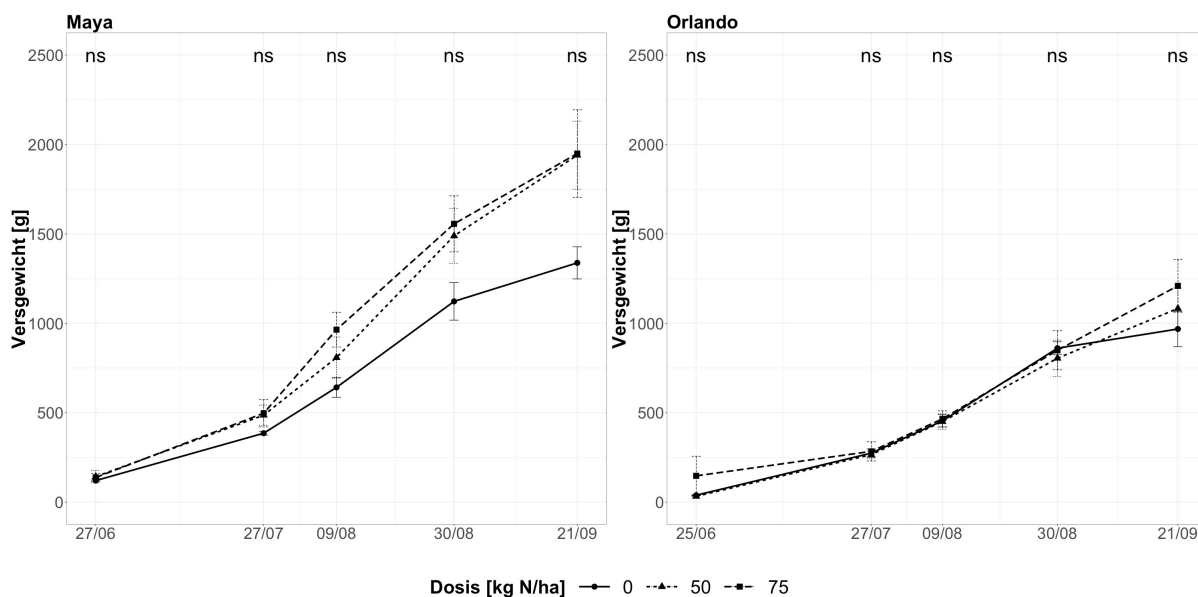
Voor beide cultivars was het stikstofgehalte (%) het hoogst bij de start van het seizoen. Het waren toen nog jonge stekken die vooral het stikstofgehalte van de moederplant weergaven. Voor de rest van het seizoen bleef het stikstofgehalte dalen (Figuur 4.23). Het gemiddelde stikstofgehalte van de standaarddosis (50 kg N/ha) was 2,72 % voor Maya en 3,02 % voor Orlando. Alleen op 14 juni en 21 september was er voor Maya een significant verschil tussen de bemestingstrappen (Figuur 4.23).



Figuur 4.23: Effect van de stikstofbemesting op het stikstofgehalte in de plantstalen van chryasant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde \pm se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen; * = significante verschillen met respectievelijk $p < 0,05$)

Seizoensverloop van de biomassa

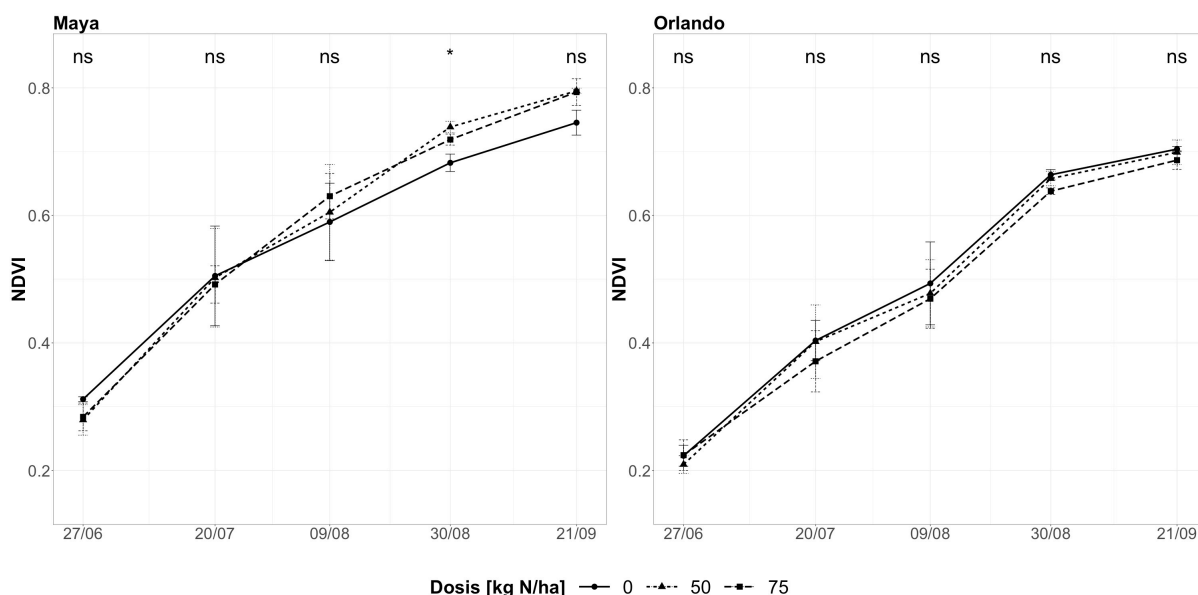
Het versgewicht (g) was voor beide cultivars het laagst aan de start van het teeltseizoen waarna het bleef stijgen gedurende de rest van het groeiseizoen (Figuur 4.24). Het gemiddelde versgewicht van de standaarddosis (50 kg N/ha) was 973,33 g voor Maya en 527,18 g voor Orlando.



Figuur 4.24: Effect van de stikstofbemesting op het versgewicht van de plantstalen van chrysant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde ± se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen met respectievelijk $p > 0,05$)

Seizoensverloop NDVI GreenSeeker

De NDVI was het laagst op 27 juni waarna die steeg gedurende het seizoen tot een maximum op 21 september (Figuur 4.25). Gemiddeld bedroeg de NDVI 0,58 voor de standaardbemesting (50 kg N/ha) bij Maya en 0,49 bij Pendula. Enkel op 30 augustus werd voor Maya een significant verschil gevonden tussen de dosissen (Figuur 4.25).

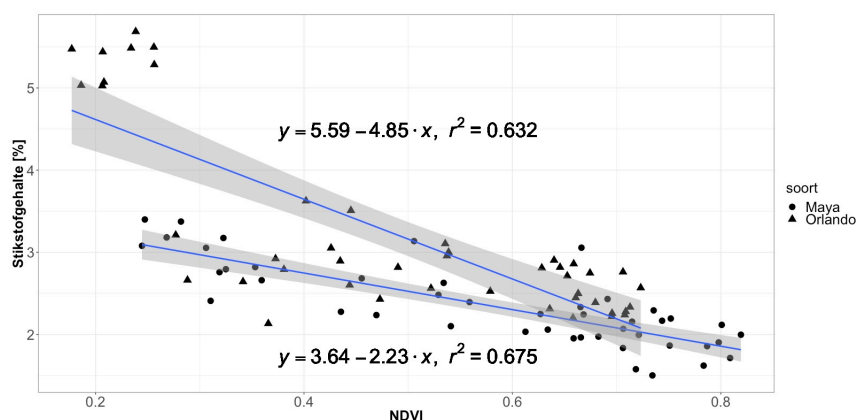


Figuur 4.25: Effect van de stikstofbemesting op de NDVI-waarden van chrysant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde ± se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen; * = significante verschillen met respectievelijk $p < 0,05$)

Er werd gezocht naar verbanden tussen het stikstofgehalte in de bladeren en de NDVI. Voor Maya werd er een zwak positieve correlatie gevonden ($r = 0,58$; $p < 0,001$). Voor Orlando werd er geen significante correlatie gevonden.

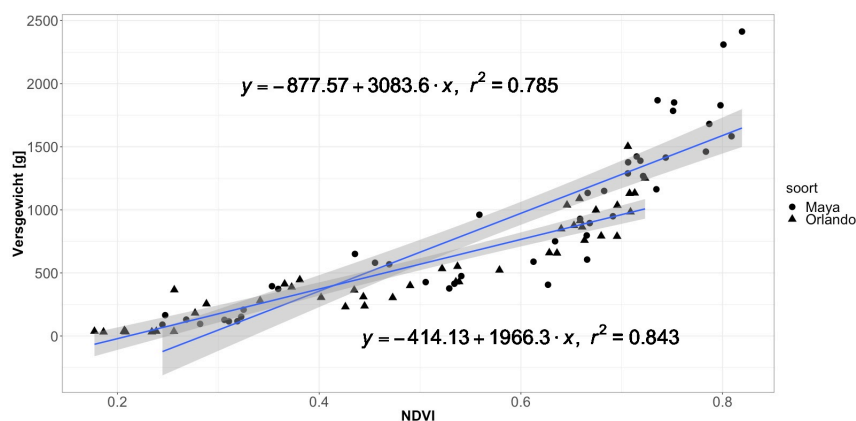
Correlatiestudie: NDVI t.o.v. stikstofgehalte en versgewicht

Voor zowel Maya ($r = -0,82$; $p < 0,001$) als Orlando ($r = -0,80$; $p < 0,001$) werd een negatieve correlatie gevonden tussen de NDVI en het stikstofgehalte (%) van de volledige planten (Figuur 4.26).



Figuur 4.26: Stikstofgehalten in de plantstalen in functie van de NDVI-waarden van chrysant cultivars Maya en Orlando

Voor zowel Maya ($r = 0,89$; $p < 0,001$) als Orlando ($r = 0,92$; $p < 0,001$) werd een positieve correlatie gevonden tussen de NDVI en de biomassa van de volledige planten (Figuur 4.27).

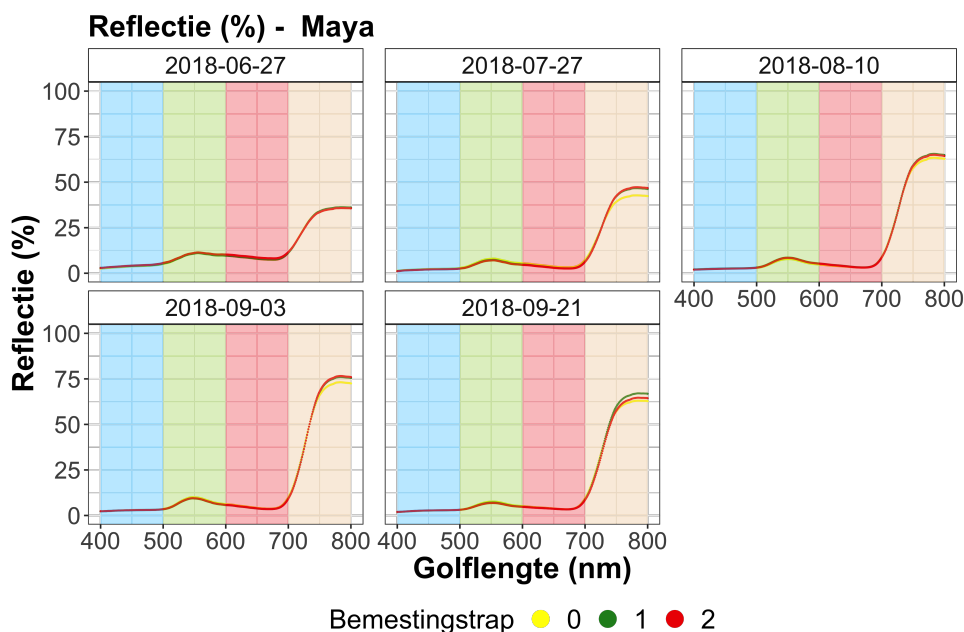


Figuur 4.27: Vers gewicht van de plantstalen in functie van de NDVI-waarden van chrysant cultivars Maya en Orlando

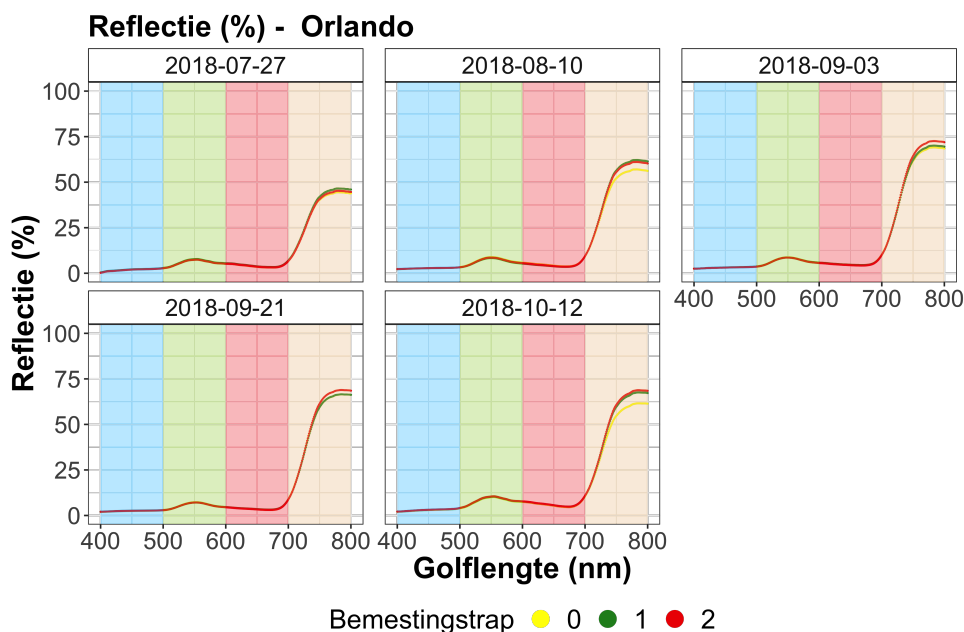
Seizoensverloop gewasreflectie Apogee SS-110

Met de Apogee SS-110 sensor werd de reflectie van het gewas tussen 340 en 820 nm opgemeten gedurende het seizoen (Figuren 4.28 & 4.29). Het typisch verloop van de

gewasreflectie werd waargenomen met een lokaal maximum rond 550 nm in het groen licht en een algemeen maximum in het NIR licht. Het verschil tussen de bemestingstrappen was in het rode en NIR deel van het lichtspectrum niet altijd even zichtbaar. Daarentegen was in de loop van het groeiseizoen de stijging in reflectie van NIR licht en de verschuiving van het omslagpunt duidelijk waar te nemen.



Figuur 4.28: Seizoensverloop gewasreflectie voor chrysant cultivar Maya met bemestings-trap 0 = 0; 1 = 50; 2 = 75 kg N/ha



Figuur 4.29: Seizoensverloop gewasreflectie voor chrysant cultivar Orlando met bemestings-trap 0 = 0; 1 = 50; 2 = 75 kg N/ha

Correlatiestudie: Vegetatie-indices Apogee SS-110

Een overzicht van de correlaties tussen de onderzochte vegetatie-indices en respectievelijk het stikstofgehalte (%) en het versgewicht is weergegeven in Tabel 4.5, terwijl de determinatiecoëfficiënten (r^2 en p-waarden) van de lineaire regressie zijn weergegeven in Tabel 4.6.

Significante verschillen tussen de dosissen over het volledige groeiseizoen worden aangeduid bij de kolom "tijd". Voor de vier meest relevante vegetatie-indices wordt ook het seizoensverloop en de significante correlaties tussen deze indices en het stikstofgehalte (%) en versgewicht grafisch weergegeven.

Tabel 4.5: Pearson's correlatie coëfficiënten en p-waarden tussen de vegetatie-indices en zowel het stikstofgehalte als het versgewicht van de volledige planten voor chrysant cultivars Maya en Orlando

	Maya				Orlando			
	N(%)		VG(g)		N(%)		VG(g)	
	r	p	r	p	r	p	r	p
NDVI	-0,71	<0,001	0,67	<0,001		ns	0,69	<0,001
NPCI	0,60	<0,001	-0,73	<0,001	0,48	0,0034	-0,75	<0,001
ChINDI	-0,67	<0,001	0,69	<0,001		ns	0,64	<0,001
RENDVI	-0,66	<0,001	0,72	<0,001		ns	0,55	<0,001
OSAVI	-0,78	<0,001	0,71	<0,001	-0,42	0,011	0,61	<0,001
OSAVI2	-0,71	<0,001	0,76	<0,001	-0,33	0,049	0,86	<0,001
TCARI	-0,66	<0,001	0,54	<0,001		ns	0,33	<0,048
TCARI2	0,62	<0,001	-0,83	<0,001		ns	-0,84	<0,001
SR	-0,70	<0,001	0,72	<0,001	-0,35	0,038	0,76	<0,001
SRPI	-0,59	<0,001	0,74	<0,001	-0,47	0,0037	0,77	<0,001
REIP1	-0,50	<0,001	0,71	<0,001		ns		ns
REIP2	-0,52	<0,001	0,79	<0,001		ns	0,62	<0,001
REIP3	-0,54	<0,001	0,77	<0,001		ns	0,47	0,0041
DCI	-0,53	<0,001	0,79	<0,001	-0,40	0,016	0,80	<0,001

Tabel 4.6: Determinatiecoëfficiënten (r^2) en p-waarden van de lineaire regressies tussen de vegetatie-indices en zowel het stikstofgehalte als het versgewicht van de volledige planten voor chrysant cultivars Maya en Orlando (ns = niet-significant; * = significant met $p < 0,05$; ° = regressie op een polynoom van de 2^{de} orde)

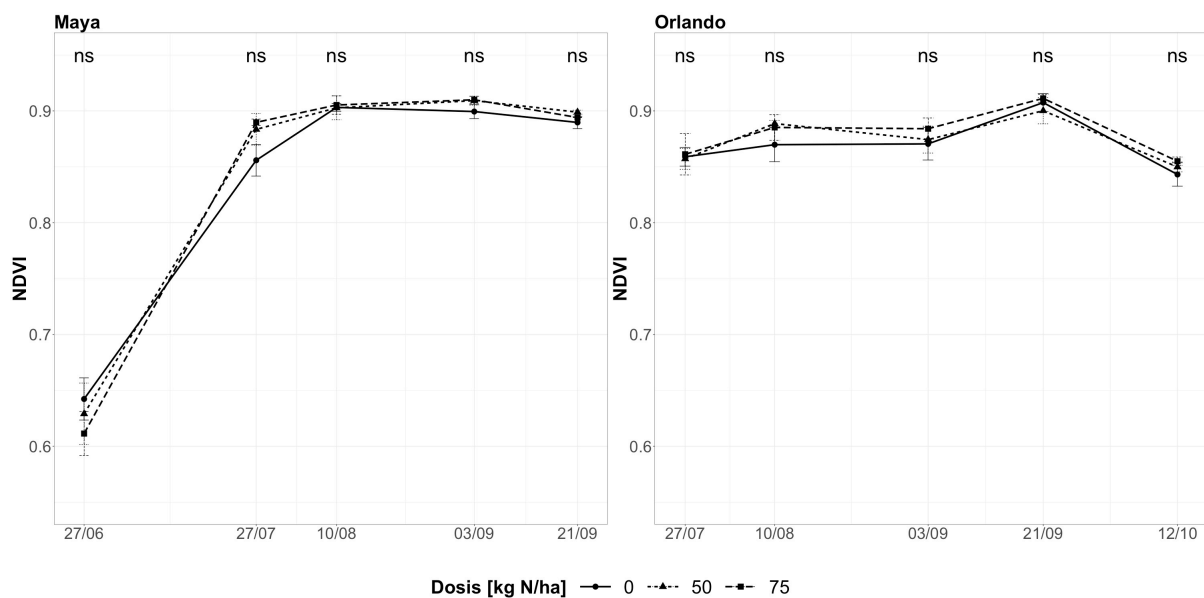
	Maya tijd	N(%)		VG(g)		Orlando tijd	N(%)		VG(g)	
		r^2	p	r^2	p		r^2	p	r^2	p
NDVI	ns	0,51	<0,001	0,52 °	<0,001	ns		ns	0,48	<0,001
NPCI	ns	0,35	<0,001	0,59 °	<0,001	ns	0,23	0,0034	0,70 °	<0,001
ChINDI	ns	0,45	<0,001	0,54 °	<0,001	ns		ns	0,51 °	<0,001
RENDVI	ns	0,43	<0,001	0,59 °	<0,001	*		ns	0,35 °	<0,001
OSAVI	ns	0,61	<0,001	0,51	<0,001	ns	0,18	0,011	0,37	<0,001
OSAVI2	ns	0,51	<0,001	0,58	<0,001	ns	0,11	0,049	0,74	<0,001
TCARI	ns	0,44	<0,001	0,30	<0,001	ns		ns	0,11	0,048
TCARI2	ns	0,38	<0,001	0,69	<0,001	ns		ns	0,71	<0,001
SR	ns	0,49	<0,001	0,52	<0,001	ns	0,12	0,038	0,57	<0,001
SRPI	ns	0,35	<0,001	0,55	<0,001	ns	0,22	0,0037	0,59	<0,001
REIP1	*	0,25	<0,001	0,51	<0,001	ns		ns		ns
REIP2	*	0,27	<0,001	0,63	<0,001	ns		ns	0,39	<0,001
REIP3	ns	0,29	<0,001	0,59	<0,001	ns		ns	0,22	0,0041
DCI	ns	0,28	<0,001	0,62	<0,001	ns	0,16	0,016	0,64	<0,0041

De NDVI was het laagst in het begin van het seizoen waarna deze verzadigde vanaf 27 juli (Figuur 4.30). De gemiddelde NDVI van de standaarddosis (50 kg N/ha) bedroeg 0,85 voor Maya en 0,87 voor Orlando. Tussen de biomassa en de NDVI bestond voor Maya een positieve correlatie ($r = 0,72$). Voor Orlando werd een lineair verband gevonden met een positieve correlatie ($r = 0,69$) tussen de biomassa en de NDVI (Figuur 4.31).

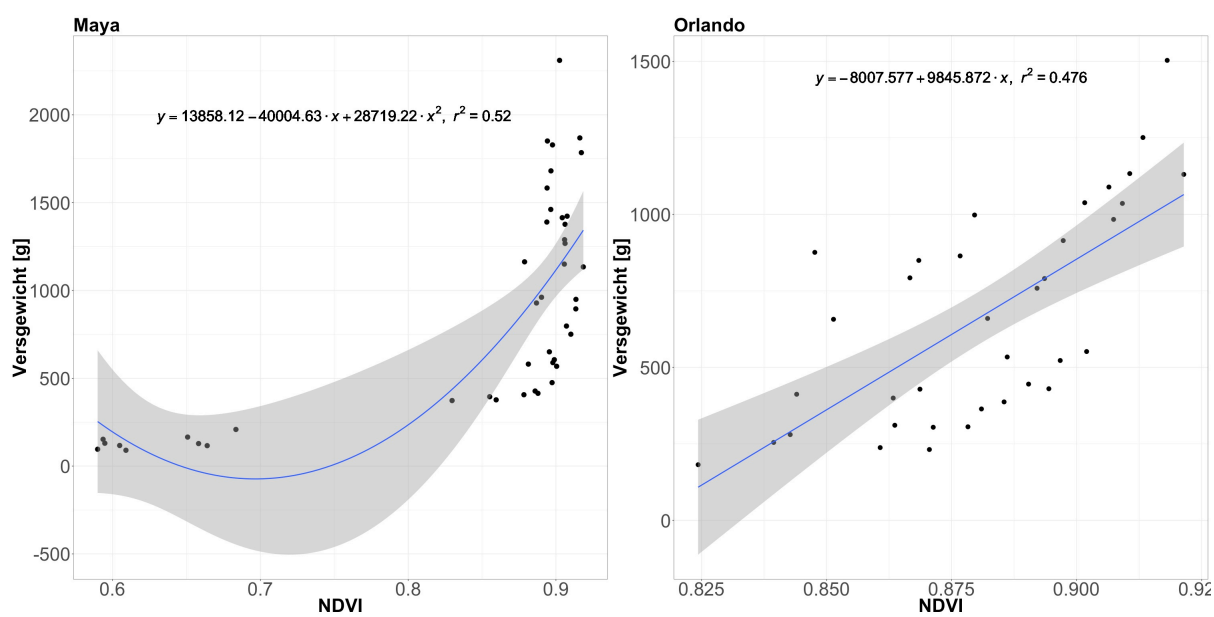
De OSAVI was het laagst in het begin van het seizoen waarna een maximum werd bereikt op 10 augustus, daarna bleef de OSAVI ongeveer constant met een dipje op 3 september (Figuur 4.32). De gemiddelde OSAVI van de standaardbemesting (50 kg N/ha) bedroeg 0,16 voor Maya en 0,18 voor Orlando. Tussen het stikstofgehalte en de OSAVI werd voor Maya ($r = -0,78$) en Orlando ($r = -0,42$) een negatieve correlatie gevonden (Figuur 4.33). Voor beide cultivars was er een positieve correlatie ($r = 0,71$ & $0,61$) tussen de biomassa en de OSAVI (Figuur 4.34).

De TCARI2 kende voor beide cultivars een maximum aan het begin van het seizoen. In de loop van september werd een minimum bereikt waarna de TCARI2 weer begon te stijgen (Figuur 4.35). Voor Maya bedroeg de TCARI2 van de standaardbemesting (50 kg N/ha) gemiddeld -0,12 en voor Orlando -0,09. Alleen op 27 juli, 3 en 21 september was er voor Maya een significant verschil tussen de bemestingsregimes. Voor Orlando werd enkel op 12 oktober een significant verschil gevonden tussen de bemestingstrappen (Figuur 4.35). Er werd voor zowel Maya ($r = -0,83$) als Orlando ($r = -0,84$) een negatieve correlatie gevonden tussen de biomassa en de TCARI2 (Figuur 4.36).

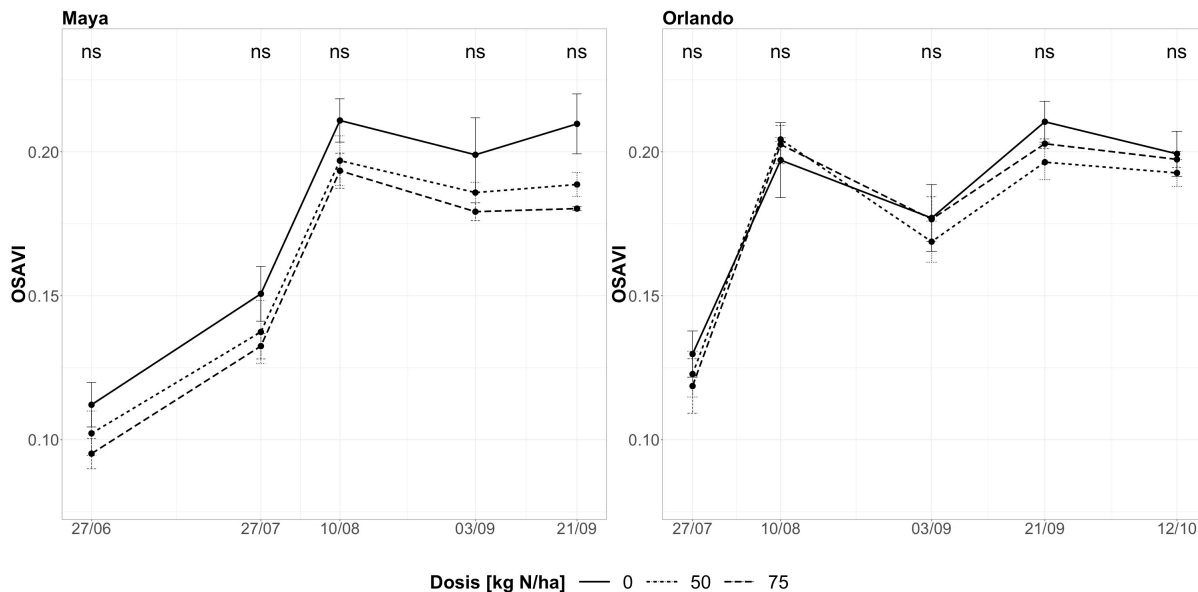
De DCI was het laagst in het begin van het seizoen. Een maximum werd bereikt op 3 september waarna de DCI weer lichtjes ging dalen (Figuur 4.37). De gemiddelde DCI van de standaarddosis (50 kg N/ha) was 2,07 voor Maya en 2,03 voor Orlando. Op 3 en 21 september was er voor Maya een significant verschil tussen de bemestingsdosissen. Op 10 augustus, 21 september en 12 oktober was er een significant verschil tussen de dosissen voor Orlando (Figuur 4.37). Er werd een positieve correlatie gevonden tussen de biomassa en de DCI voor zowel Maya ($r = 0,79$) als Orlando ($r = 0,80$) (Figuur 4.38).



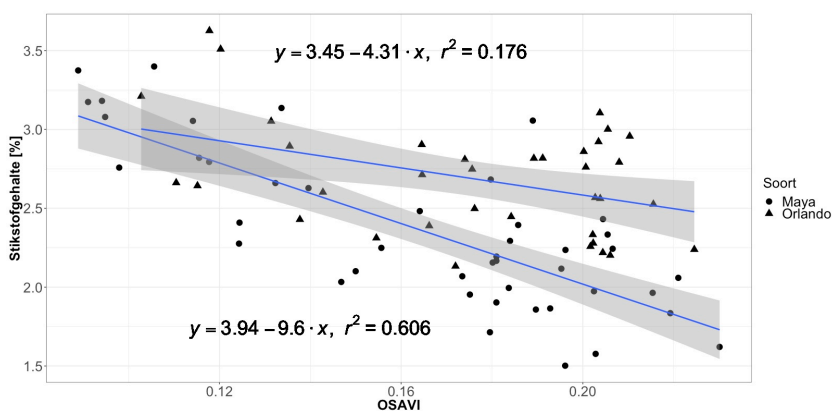
Figuur 4.30: Effect van de stikstofbemesting op de NDVI van chrysant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde \pm se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen met $p > 0,05$)



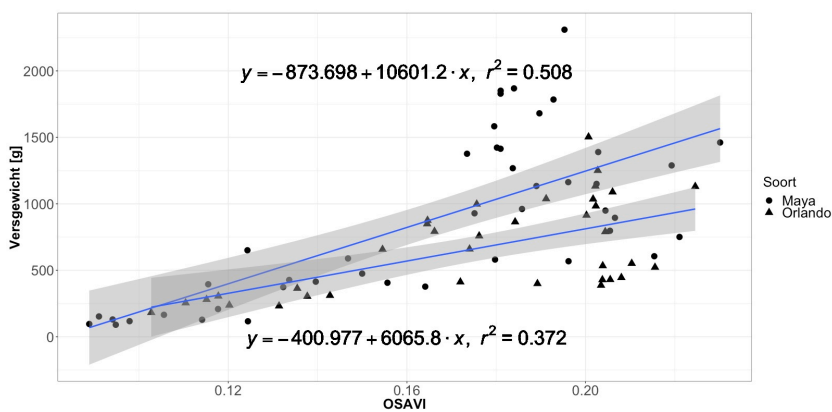
Figuur 4.31: Biomassa (versgewicht) van de plantstalen in functie van de NDVI van chrysant cultivars Maya en Orlando



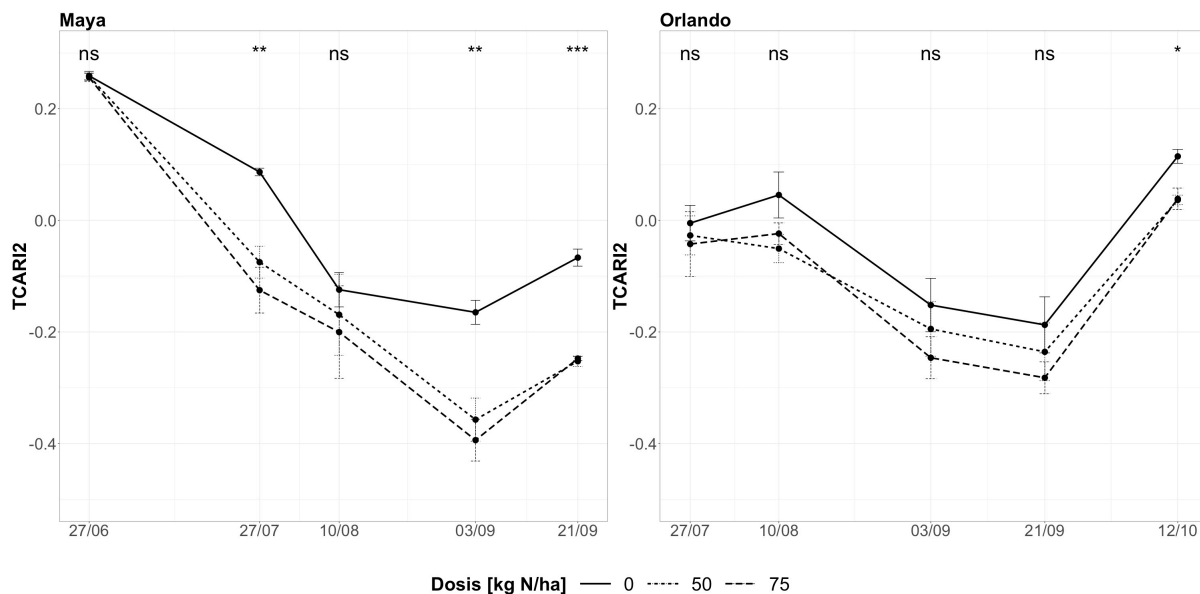
Figuur 4.32: Effect van de stikstofbemesting op de OSAVI van chrysant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde ± se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen met $p > 0,05$)



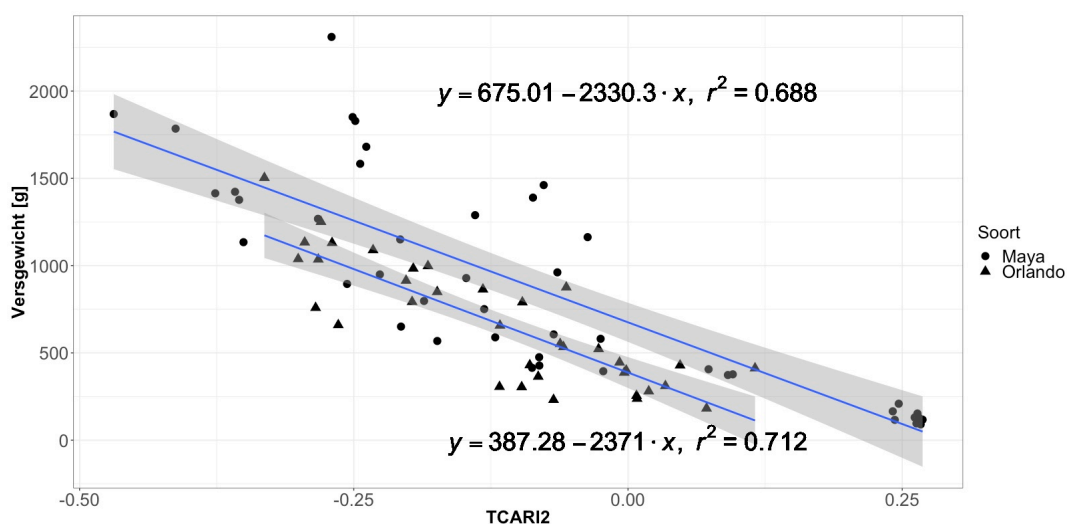
Figuur 4.33: Stikstofgehalte (%) in functie van de OSAVI van chrysant cultivars Maya en Orlando



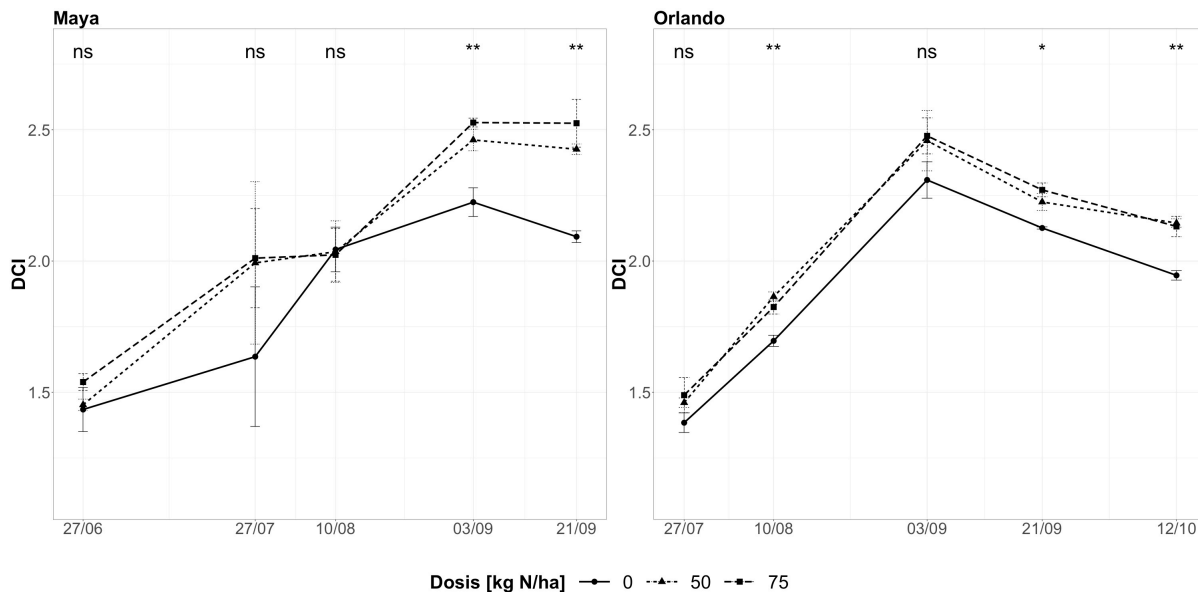
Figuur 4.34: Biomassa (versgewicht) in functie van de OSAVI van chrysant cultivars Maya en Orlando



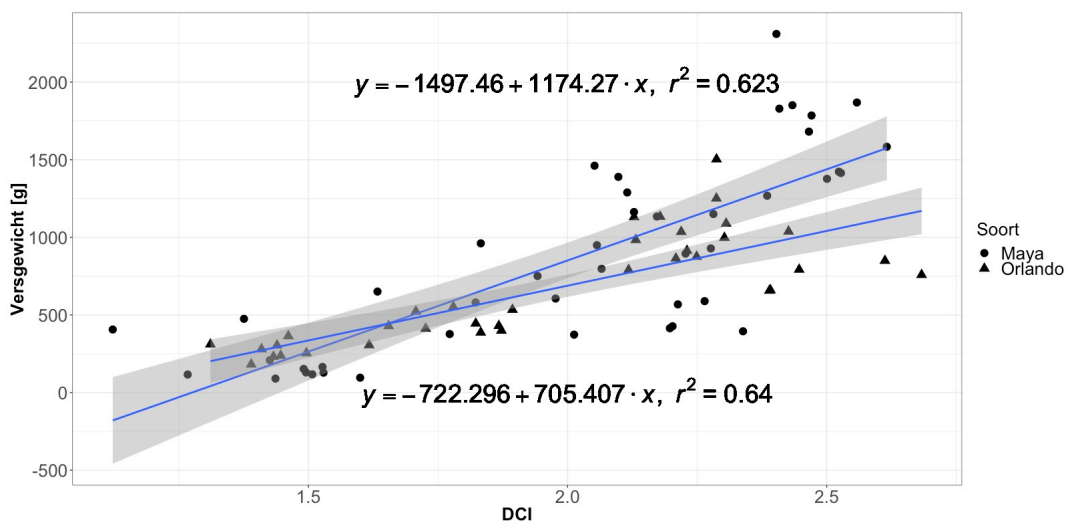
Figuur 4.35: Effect van de stikstofbemesting op de TCARI2 van chrysant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde \pm se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen; * & ** = significante verschillen met respectievelijk $p < 0,05$ & $p < 0,01$)



Figuur 4.36: Biomassa (versgewicht) in functie van de TCARI2 van chrysant cultivars Maya en Orlando



Figuur 4.37: Effect van de stikstofbemesting op de DCI van chrysant cultivars Maya en Orlando (gemiddelde ± se, n = 3) (ns = niet-significante verschillen: * & ** = significante verschillen met respectievelijk p < 0,05 & p < 0,01)



Figuur 4.38: Biomassa (vergewicht) in functie van de DCI van chrysant cultivars Maya en Orlando

HOOFDSTUK 5

DISCUSSIE

In precisielandbouw wordt gezocht naar technieken die toelaten om efficiënter en milieuvriendelijker het landbouwbedrijf uit te baten. De toepassing van niet-destructieve meettechnieken kunnen hier mogelijks het bemestingsadvies ondersteunen (EIP-AGRI, 2015; Kikkert, 2009; Ros & Bussink, 2012; Van Bogaert et al., 2018; van der Schans et al., 2011).

In de sierteelt wordt nauwelijks onderzoek gedaan naar het potentieel van deze technieken. Hier werden niet-destructieve technieken onderzocht op twee teeltechnisch verschillende gewassen, knolbegonia en chryasant. Door drie verschillende bemestingsdosissen toe te dienen, werd een range aan stikstofgehalten gecreëerd. De focus lag op het zoeken naar correlaties tussen blad- en gewasreflectiespectra met respectievelijk de biomassa en het stikstofgehalte (%) van de bladeren en de volledige planten.

Bij een sub-optimale bemestingsdosis, zal de kwaliteit van de plant dalen wat bij sierteeltgewassen kan resulteren in niet-verkoopbare planten. Stikstof is een mobiel nutriënt dat bij een tekort wordt gemobiliseerd uit oudere bladeren. Daardoor zullen de oudere bladeren dan ook als eerste minder intens groen kleuren en bij een zwaar gebrek chlorotisch worden of zelfs afsterven. Bij chryasant zal een matig stikstoftekort aanleiding geven tot onvoldoende lengtegroei, weinig vertakkingen en een denser wortelgestel. Ook de bloei kan verlaat worden of zelfs helemaal niet optreden (van Eysinga & Smilde, 1980). Bij een overmaat aan stikstof zal te weinig diktegroei en wortelvorming optreden, maar de plant zal wel sterk vegetatief groeien. Knolbegonia zal bij overmatige bemesting een sub-optimale groei kennen en een minder weelderige bloei (James & van Iersel, 1999). De knollen zullen minder goed bewaren en kunnen zelfs rotten bij een teveel aan stikstof (Schoeters et al., 2019). Een stikstof overmaat zal bij chryasant resulteren in een verminderde groei, diepgroene en dikkere bladeren en een sterkere vertakking wat in een later stadium de bloei kan belemmeren of vertragen. De plant zal ook gevoeliger zijn voor plagen en ziekten (van Eysinga & Smilde, 1980).

5.1 Metingen op bladniveau

Het chlorofylgehalte is een goede indicator van de fotosynthetische activiteit en de stikstofstatus van de plant (Ros & Bussink, 2012). Onder andere bij tarwe (Debaeke, Rouet & Justes, 2006), maïs (Bullock & Anderson, 1998) en rijst (Yang, Yang, Lv & He, 2014) werden goede correlaties gevonden tussen de schatting van het chlorofylgehalte via SPAD en de stikstofstatus van de plant. Bij aardappelen, een gewas met vergelijkbare ontwikkelingsmorfologie als knolbegonia, was de SPAD-waarde een goede indicator van droogtestress en de stikstofstatus van de plant (Saravia et al., 2016). Bij de niet-knolvormende begonia Elatior-hybriden werd een zeer goede positieve correlatie gevonden tussen de SPAD-waarde en de toegediende stikstofbemesting (Pitchay, Frantz, Locke, Krause & Fernandez, 2019). In het eigen onderzoek werd een matig positieve correlatie gevonden tussen de chlorofylindex en het stikstofgehalte (%) bij de knolbegonia cultivars Dubbel Roos ($r = 0,68$) en Pendula ($r = 0,43$). De correlatie was duidelijk beter voor Dubbel Roos, wat aantoont dat de bruikbaarheid om de stikstofstatus in knolbegonia te schatten cultivar afhankelijk is. Ook bij chrysant gaf eerder onderzoek aan dat de SPAD-meter potentieel heeft om het stikstofgehalte te schatten, maar de resultaten waren niet consistent gedurende het groeiseizoen en tussen verschillende cultivars (Khoddamzadeh & Dunn, 2019). In het eigen onderzoek werd voor beide chrysant cultivars zelfs geen significant verband gevonden tussen de chlorofyl index en het stikstofgehalte (%).

Naast het schatten van het chlorofylgehalte kan de Dualex sensor ook het flavonolgehalte schatten. Bij een tekort aan stikstof zal het metabolisme van flavonolen verhoogd worden. Hierdoor kan ook het flavonolgehalte een indicator zijn van de stikstofstatus van de plant (Liu et al., 2010; Tremblay et al., 2012). Zo werd onder meer bij tarwe (Tremblay et al., 2012) en aardappelen (Ben Abdallah, Philippe & Goffart, 2018) een negatieve correlatie gevonden tussen de flavonol index en het stikstofgehalte. Bij knolbegonia werd eveneens een zwak, negatieve correlatie ($r = -0,48$ & $-0,38$) gevonden tussen de flavonol index en het stikstofgehalte (%). Bij chrysant was het resultaat zeer cultivar afhankelijk. Voor Maya werd een sterke, negatieve correlatie ($r = -0,83$) gevonden terwijl er voor Orlando geen significant verband werd waargenomen.

De NBI is de ratio van de chlorofyl index en de flavonol index. Eerdere proeven op aardappelen toonden aan dat de NBI veel beter in staat was om verschillen in stikstofbemesting te gaan detecteren dan de chlorofyl of flavonol index. Daarnaast kon de NBI deze verschillen ook eerder in het seizoen detecteren (Abdallah & Goffart, 2010). Bij tarwe (Tremblay et al., 2012) en aardappelen (Ben Abdallah et al., 2018) werd een zeer sterke, positieve correlatie gevonden met het stikstofgehalte. Bij beide experimenten bleek de NBI de gevoeligste indicator te zijn voor de stikstofstatus van het gewas. Ook bij maïs bleek de ratio van de indices gevoeliger en robuuster te zijn dan elk van de indices

afzonderlijk (Tremblay, Wang & Bélec, 2007). Dit bleek ook het geval voor knolbegonia, want voor zowel Dubbel Roos ($r = 0,69$) als Pendula ($r = 0,69$) werd een significante, positieve en hogere correlatie gevonden. Bij chrysant werd er enkel voor Maya een positieve correlatie gevonden ($r = 0,70$).

De meetwaarden met de Dualex sensor zijn afhankelijk van een aantal bladkarakteristieken zoals de dikte, het watergehalte en de verhouding van de bladmassa (droog gewicht) tot de oppervlakte (*Leaf Mass per Area* - LMA). Deze bladkarakteristieken kunnen de schattingen van het chlorofylgehalte en dus ook de stikstofstatus beïnvloeden (Cerovic, Masdoumier, Ghazlen & Latouche, 2012; Meyer et al., 2006). Daarom werd de chlorofyl index gecorrigeerd met de LMA (chlorofyl index per massa-eenheid). Zowel bij knolbegonia als chrysant leverde dit positieve correlaties op, en deze waren vergelijkbaar met de correlaties tussen de NBI en het stikstofgehalte (%).

Het feit dat de NBI en de LMA-gecorrigeerde chlorofyl index een gelijkaardige, positieve correlatie opleverden was te verwachten. Bij toenemende zonnestraling op het bladoppervlak daalt het chlorofylgehalte op massabasis terwijl het flavonolgehalte op massabasis en de LMA net stijgen (Meyer et al., 2006; Tattini et al., 2004). Aangezien dus zowel de hoeveelheid flavonolen als de LMA positief zijn gecorreleerd met de hoeveelheid zonnestraling, kan de flavonol index dienen als surrogaat van LMA. Dit werd ook bevestigd in de data, behalve voor Orlando werd er voor alle cultivars een positieve correlatie gevonden tussen de flavonol index en de LMA. De NBI stemt dus overeen met een LMA-gecorrigeerde chlorofyl index. Dit werd ook bevestigd bij jonge en oude bosbomen waar de ratio chlorofyl/flavonolen goed correleert met het LMA-gecorrigeerde chlorofylgehalte (Cerovic et al., 2012; Meyer et al., 2006). De NBI en de LMA-gecorrigeerde chlorofyl index leveren beiden een gelijkaardige, goede correlatie op. Voor praktisch gebruik bleek de NBI een betere optie. Om de LMA-correctie door te voeren moet deze steeds destructief bepaald worden waarbij zowel het bladoppervlak als het drooggewicht moeten opgemeten worden. Voor de NBI dienen enkel de metingen met de Dualex-meter worden uitgevoerd.

5.2 Metingen op gewasniveau

5.2.1 NDVI

De NDVI is één van de meest gebruikte vegetatie-indices. Het is de ratio van de reflectie van het rode en NIR licht. De NDVI is een goede schatter van de biomassa en de stikstofstatus van het gewas, maar is gevoelig voor variatie in bodemreflectie bij een lage LAI en heeft last van verzadiging bij een LAI hoger dan 2 (Gamon et al., 1995; Kikkert, 2009; Ros & Bussink, 2012; Yu, Li, Qin & Fan, 2013). Vandaar dat in de literatuur meestal een niet-lineair verband wordt gerapporteerd (Alvaro et al., 2007; Gamon et al., 1995). Zo werden bij tarwe (Cabrera-Bosquet et al., 2011), aardappelen en gerst (Bowen, Hopkins, Ellsworth, Cook & Funk, 2005) goede correlaties gevonden tussen de NDVI en de biomassa of het stikstofgehalte. Ook bij enkele sierteeltgewassen zoals goudsbloem, zinnia, geranium en begonia werd een goede, positieve correlatie gevonden tussen de NDVI en het stikstofgehalte, maar enkel nadat het gewas de pot bedekte en nog steeds in het vegetatief stadium was (Basyouni, Dunn & Goad, 2014). Ook voor chrysan bleek uit onderzoek dat er een positieve correlatie bestond tussen NDVI en het stikstofgehalte op individuele momenten, de correlatie was zelfs beter dan die met de SPAD- en atLEAF-meter (Khoddamzadeh & Dunn, 2019). In het eigen onderzoek werd voor knolbegonia met de GreenSeeker en met de Apogee sensor geen correlatie gevonden tussen de NDVI en het stikstofgehalte (%). Er werd wel een positieve correlatie gevonden tussen NDVI en biomassa, dit zowel met de GreenSeeker ($r = 0,84$ & $r = 0,72$) als met de Apogee sensor ($r = 0,72$ & $0,77$). De resultaten met chrysan zijn minder rechtlijnig. Er was een negatieve correlatie tussen de NDVI en het stikstofgehalte (%), zowel met de GreenSeeker ($r = -0,82$ & $-0,80$) als met de Apogee sensor bij Maya ($r = -0,71$). Dit negatief verband was te wijten aan het hoge stikstofgehalte aan de start van het seizoen en de hierop volgende verdunning bij een toenemende biomassa. Tussen de NDVI en de biomassa werd wel een positieve correlatie gevonden met de GreenSeeker ($r = 0,89$ & $0,92$) en met de Apogee sensor ($r = 0,67$ & $0,69$), al was voor Maya het verband met de biomassa kwadratisch bij de Apogee sensor. Zowel voor het schatten van biomassa als stikstofgehalte werden betere correlaties gevonden bij gebruik van de GreenSeeker. Echter, niet enkel de sensor was verschillend, maar ook de meettechniek. Met de GreenSeeker werd een continue meting uitgevoerd over een bepaalde veldafstand terwijl met de Apogee sensor telkens meerdere puntmetingen werden uitgevoerd. Bij een continue meting bevond er zich tussen twee planten in de rij telkens een stukje bodem zolang het gewas niet gesloten was. Dit zorgde ervoor dat bij de eerste metingen de NDVI, bepaald met de GreenSeeker wat lager was dan bij de Apogee sensor en dus minder snel verzadigde bij metingen later in het groeiseizoen. Verder onderzoek is dan ook nodig om te bepalen wat de beste meettechniek is (continu of discreet) voor de bepaling van deze parameter.

5.2.2 Overige vegetatie-indices

De RENDVI is een variant op de NDVI die de golflengtes van het *Red Edge* spectrum gebruikt omdat deze minder gevoelig zijn aan saturatie en dieper kunnen doordringen in het bladerdek (Gitelson et al., 1996; Sharma et al., 2015). Zo werd aangetoond dat de RENDVI beter correleerde met de biomassa in maïs, waar het vooral nuttig bleek om het bemesten laat in het seizoen te ondersteunen (Sharma et al., 2015). In het eigen onderzoek werd voor knolbegonia bij Dubbel Roos een zwakke correlatie ($r = 0,61$) gevonden tussen de RENDVI en het stikstofgehalte (%). Voor beide cultivars werd een correlatie ($r = 0,69$ & $0,78$) gevonden met de biomassa die vrij gelijkaardig was aan die met de NDVI. Opnieuw werd bij chrysant enkel voor Maya een negatieve correlatie ($r = -0,66$) gevonden met het stikstofgehalte (%). De RENDVI vertoonde voor beide cultivars een kwadratisch verband ($r = 0,72$ & $0,55$) met de biomassa wat erop wees dat ook de RENDVI verzadigd raakte en het dus niet opmerkelijk beter deed dan de NDVI.

De ChINDI is opnieuw een ratio-index die sterk lijkt op de NDVI en golflengtes gebruikt in de buurt van die van de RENDVI. Het gebruik van deze index biedt dan ook gelijkaardige voordelen (Casa et al., 2015). Dit blijkt ook uit de resultaten van het eigen onderzoek aangezien de correlaties sterk vergelijkbaar zijn met de NDVI en RENDVI.

De NPCI wordt vooral gebruikt in afrijpende gewassen. Zo werd bij maïs, soja, tarwe en koolzaadolie de NPCI echt interessant wanneer de bladeren chlorofyl begonnen te verliezen. Deze index wordt gevoeliger voor veranderingen in chlorofyl naarmate het gewas veroudert. Deze index vindt dan ook eerder toepassingen bij het bepalen van de rijpheid van landbouwgewassen en niet bij het ondersteunen van bemestingsadviezen die eerder in het seizoen plaatsvinden (Hatfield & Prueger, 2010). Desalniettemin werden bij zowel knolbegonia ($r = -0,73$ & $-0,78$) als chrysant ($r = -0,73$ & $-0,75$) sterke, negatieve correlaties gevonden met de biomassa. Bij chrysant was het verband weliswaar opnieuw kwadratisch. Ook met het stikstofgehalte (%) werd bij knolbegonia cultivar Dubbel Roos ($r = -0,60$) en bij de chrysant cultivars ($r = 0,60$ & $0,48$) een vrij goede correlatie gevonden. Dit toont aan dat de NPCI een alternatief zou kunnen zijn voor de NDVI en zou kunnen worden ingezet bij het bemestingsadvies van deze sierteeltgewassen.

De OSAVI is een getransformeerde vegetatie-index die de invloeden van de bodemreflectie minimaliseert waardoor ze ideaal is voor jonge niet-sluitende gewassen (Ros & Bussink, 2012). In onderzoek op rijst werden betere positieve correlaties met de chlorofylinhoud gevonden met OSAVI dan met de NDVI, MCARI en TCARI (Xu, Gu, Song, Li & Huang, 2011). Onderzoek op aardappelen toonde aan dat de variatie in de OSAVI vooral verklaard werd door de variatie in LAI en slechts deels door de variatie van de groen/rood ratio (Kooistra & Clevers, 2016). In het eigen onderzoek werden twee varianten van de OSAVI getest. De OSAVI1 gebruikte de klassieke golflengtes uit het zichtbaar rood en NIR licht terwijl OSAVI2

de golflengtes uit het RE en NIR spectrum gebruikte. Bij knolbegonia werden de beste correlaties gevonden met OSAVI1, dit enkel met de biomassa ($r = 0,67$ & $0,79$) terwijl bij chrysant OSAVI1 beter gecorreleerd was met het stikstofgehalte (%) ($r = -0,78$ & $-0,42$), maar OSAVI2 met de biomassa ($r = 0,76$ & $0,86$). Dat OSAVI1 beter correleerde met de biomassa van knolbegonia en OSAVI2 met die van chrysant houdt verband met de biomassa ontwikkeling bij deze gewassen. Het gewas kon nooit helemaal sluiten bij knolbegonia terwijl dit bij chrysant wel het geval was. De OSAVI2 gebruikt in analogie met de RENDVI golflengtes die minder gevoelig zijn aan saturatie. Dat OSAVI1 beter correleerde met het stikstofgehalte van chrysant kan verklaard worden doordat de golflengtes voor de berekening van deze index sterker geabsorbeerd worden door chlorofyl (Ros & Bussink, 2012). Hierdoor is OSAVI een potentieel interessante vegetatie-index.

De TCARI is een getransformeerde index die vrij ongevoelig is voor niet-fotosynthetische materialen. Zo werden bij aardappel hoge correlaties gevonden tussen de TCARI en stikstofgehalte in de bladeren (Cohen et al., 2007). Ook bij wintertarwe werd aangetoond dat de TCARI zeer goed correleerde met de stikstofstatus van het gewas (Tang et al., 2010). De TCARI werd in het eigen onderzoek in twee varianten onderzocht. De TCARI1 met golflengtes uit het zichtbare, rode en het NIR licht en de TCARI2 met zoals de RENDVI golflengtes uit het RE en NIR spectrum. Bij knolbegonia waren er geen correlaties met het stikstofgehalte. Tegenover de biomassa was er wel een positieve correlatie ($r = 0,48$ & $0,74$) met TCARI1, zeer gelijkaardig aan deze met TCARI2. Bij chrysant was de correlatie ($r = -0,66$) voor Maya met het stikstofgehalte (%) beter met TCARI1, maar voor beide cultivars was de correlatie ($r = -0,83$ & $-0,84$) met de biomassa beter met TCARI2. Dit was opnieuw te wijten aan de keuze van golflengtes zoals bij de OSAVI. Ook al werden er veelbelovende correlaties gevonden bij chrysant, de TCARI bereikte wellicht zijn limieten bij het weinig sluitende bladerdek van de knolbegonia's. Het feit dat TCARI vrij ongevoelig is voor niet-fotosynthetische materialen (zoals bodem) werd dus niet aangetoond bij knolbegonia, maar deze index toonde wel degelijk zijn potentieel als schatter van de stikstofstatus en biomassa bij chrysant aan, die sneller de bodem bedekte.

De SR berekent de ratio van een golflengte (800 nm) die sterk wordt gereflecteerd op een golflengte (680 nm) die sterk wordt geabsorbeerd door chlorofyl. De SR correleerde in eerder onderzoek goed met biomassa, LAI en chlorofylgehalte (Alvaro et al., 2007; Broge & Leblanc, 2001; Hatfield & Prueger, 2010; Kross, McNairn, Lapen, Sunohara & Champagne, 2015). Bovendien had de SR bij maïs en soja minder tot geen last van saturatie waardoor deze dus ook bij gewassen met een hoge dichtheid en LAI kan gebruikt worden (Kross et al., 2015; Nguy-Robertson et al., 2012). Bovendien bleek bij verschillende cultivars van gerst, tarwe en triticale dat de SR preciezer was dan de NDVI (Alvaro et al., 2007). In het eigen onderzoek leverde de SR voor knolbegonia zeer goede correlaties ($r = 0,84$ & $0,85$) op met de biomassa. Ook bij chrysant werden met het stikstofgehalte (%) ($r = -0,70$ & $-0,35$) en de biomassa ($r = 0,72$ & $0,76$) (goede) correlaties gevonden. Dit bevestigde dat de SR zowel bij een lage

als hoge gewasdensiteit kan worden gebruikt om de biomassa te voorspellen en dus minder last heeft van saturatie.

De SRPI is de ratio van de reflectie van blauw (430 nm) op rood (680 nm) licht. Aangezien enkel chlorofyl rood licht absorbeert kan deze index gebruikt worden om de ratio van de totale pigmenten tegenover chlorofyl te schatten (Reynolds & Ortiz-Monasterio, 2002). Onder meer op maïs, tarwe, tomaat, soja en zonnebloem werd een goede correlatie gevonden tussen de ratio carotenen/chlorofyl en de SRPI (Penuelas, Baret & Filella, 1995). In het eigen onderzoek werd voor knolbegonia enkel voor Dubbel Roos een goede correlatie ($r = 0,59$) gevonden met het stikstofgehalte (%). Tegenover de biomassa werd er wel voor beide cultivars een goede correlatie ($r = 0,75$ & $0,79$) gevonden. Voor chryasant werd zowel met het stikstofgehalte (%) ($r = -0,59$ & $-0,47$) als met de biomassa ($r = 0,74$ & $0,77$) correlaties gevonden, maar deze waren niet opmerkelijk beter dan met andere indices. De SRPI probeert goede correlaties te vinden met het chlorofylgehalte, maar bij onze gewassen bleken correlaties met het stikstofgehalte (%) matig.

Het REIP zoekt aan de hand van interpolatie het omslagpunt van absorptie van rood naar reflectie van NIR licht. NIR wordt sterker gereflecteerd naarmate het gewas gezonder is en kan dus gebruikt worden om het chlorofylgehalte of stikstofstatus van de plant te schatten, maar behoort ook tot de indices die de LAI schatten (Cho & Skidmore, 2006; Ros & Bussink, 2012). In een proef met tarwe bleek het REIP een betere schatter voor de LAI dan de NDVI (Herrmann et al., 2010). Bij wintertarwe bleek de NDVI minder nauwkeurig bij hogere stikstofgiften en latere groeistadia, terwijl het REIP net beter werd (Kanke, Raun, Solie, Stone & Taylor, 2012). In het eigen onderzoek werden drie varianten van het REIP getest met telkens een iets ruimer bereik aan golflengtes. Bij knolbegonia werd de beste correlatie ($r = 0,64$ & $0,56$) tegenover het stikstofgehalte (%) gevonden met REIP1, maar er werden geen significante correlaties gevonden met de biomassa. Voor chryasant was REIP2 de beste waarbij enkel met Maya een correlatie ($r = -0,52$) gevonden werd met het stikstofgehalte (%). Tegenover de biomassa werd voor beide cultivars een goede correlatie ($r = 0,79$ & $0,62$) gevonden. Dit toont aan dat het REIP zeker potentieel toont om gebruikt te worden als schatter van zowel het stikstofgehalte als de biomassa, maar er is nog verder onderzoek nodig om de theorie van het inflectiepunt naar de praktijk om te zetten.

De DCI is de ratio van de afgeleide van het verloop van de reflectie bij 725 en 702 nm. Deze index berust op hetzelfde principe van het REIP, maar doordat de afgeleide bijna ongevoelig wordt voor bodemreflectie is deze index zeer interessant voor het schatten van het chlorofylgehalte bij slecht sluitende gewassen en voor het detecteren van stress. Daarnaast wordt deze index naar voor geschoven als een mogelijks universele vegetatie-index (Kochubey & Kazantsev, 2012; Zarco-Tejada et al., 2002). In een studie op rijst onder stress door zware metalen werden 66 vegetatie-indices getest waarbij de DCI het best correleerde met het chlorofylgehalte (Wang, Huang & Liu, 2016). In het eigen

onderzoek op knolbegonia werd enkel voor Dubbel Roos een correlatie ($r = 0,66$) gevonden met het stikstofgehalte (%). Tegenover de biomassa werd er voor beide cultivars een goede correlatie ($r = 0,69$ & $0,74$) gevonden. Voor chrysanth werd een matige correlatie ($r = -0,53$ & $-0,40$) gevonden met het stikstofgehalte (%) en een goede correlatie ($r = 0,79$ & $0,80$) tegenover de biomassa. Dit toont aan dat de DCI inderdaad een universele vegetatie-index zou kunnen zijn voor zowel het schatten van de stikstofstatus als biomassa van gewassen. Zo werd voor Dubbel Roos, die leed onder droogtestress en de bodem niet goed bedekte, met de DCI de beste correlatie met het stikstofgehalte gevonden. Over het algemeen leverde deze index de betere correlaties op.

HOOFDSTUK 6

CONCLUSIE

De huidige stikstofproblematiek vraagt naar technieken die gefractioneerde bemesting ondersteunen om de verliezen naar het milieu te beperken. Het potentieel van niet-destructieve meettechnieken op blad- en gewasniveau van twee sierteelten werd onderzocht, namelijk knolbegonia en potchrysanthe. Een eerste groep indices werd bepaald op bladniveau. Voor beide gewassen bleek de NBI zeer waardevol om het stikstofgehalte in de bladeren te bepalen tijdens het teeltseizoen. De NBI was een betere schatter dan de chlorofyl of flavonol index. De Dualex-meter lijkt dus een gebruiksvriendelijk instrument om het bemestingsadvies te ondersteunen en te lage stikstofconcentraties op te sporen. Op gewasniveau werden met de NDVI betere correlaties gevonden met de GreenSeeker dan met de Apogee sensor. Verder onderzoek moet echter uitwijzen in hoeverre de meettechniek hiervoor verantwoordelijk was. De GreenSeeker blijft zonder meer een gebruiksvriendelijke sensor die in gewassen met een LAI < 2 goede correlaties vindt met biomassa en stikstofstatus. De Apogee SS-110 sensor leverde enorm veel informatie op waarmee een aantal interessante vegetatie-indices berekend werden om zowel het stikstofgehalte en/of de biomassa te schatten. De beste correlaties waren bijna steeds soortafhankelijk, maar een aantal indices deden het algemeen goed. Naast de klassieke NDVI bleken de NPCI, OSAVI, TCARI, SR, REIP en DCI veelbelovende indices bij beide soorten. Echter verschilden de gevonden correlaties tussen de indices en/of biomassa of stikstofgehalte onderling niet zo sterk waardoor het niet mogelijk is één bepaalde index aan te bevelen. De huidige dataset (één groeiseizoen, drie stikstofbehandelingen), bekomen met de Apogee sensor, moet verder aangevuld worden, ook omdat 2018 een atypisch jaar was met extreme hitte en droogte. Verder onderzoek naar deze indices of verdere dataverwerking waarbij het volle spectrum van de opgemeten golflengtes gebruikt wordt is dan ook aangewezen om de maximale informatie uit de Apogee sensor te benutten. Het mag duidelijk zijn dat deze *near sensing* technieken veel informatie opleveren waarmee na een basisbemesting een advies geformuleerd kan worden gedurende het seizoen. Het is aan ondersteunende onderzoekscentra en R&D om deze informatie bruikbaar te maken voor de teler via toegankelijke software of door het vertalen van de informatie in taakkaarten. Dit zou leiden tot een efficiëntere bemesting wat ten goede komt van de waterkwaliteit. Door de meer plantaafhankelijke stikstofbemesting zullen de nitraatresidu's dalen en kan het bedrijf vermijden in een strengere klasse terecht te komen.



BIBLIOGRAFIE

- Abdallah, F. B. & Goffart, J. (2010). *Potential Indicators Based on Leaf Flavonoids Status* (Rapport). Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, CRA-W.
- Alvaro, F., García del Moral, L. F. & Royo, C. (2007). Usefulness of remote sensing for the assessment of growth traits in individual cereal plants grown in the field. *International Journal of Remote Sensing*, 28(11), 2497–2512. doi: 10.1080/01431160600935604
- Apogee Instruments. (2019a). *Field Spectroradiometers*. Op 2019-03-20 verkregen van <https://www.apogeeinstruments.com/field-spectroradiometers/>
- Apogee Instruments. (2019b). *Spectroradiometer Models SS-110 and SS-120* (Rapport).
- AVBS. (2015). *MAP 5*. Op 2019-03-10 verkregen van <https://www.avbs.be/kenniscentrum/onderwerpen/map-5>
- AVBS. (2018). *Resultaten nitraatresidu*. Op 2019-04-15 verkregen van <https://www.avbs.be/actualiteit/bemesting>
- Basyouni, R., Dunn, B. & Goad, C. (2014). The Use of Nondestructive Sensors to Assess Nitrogen Needs of Greenhouse Plants. (July).
- Ben Abdallah, F., Philippe, W. & Goffart, J. P. (2018, dec). Comparison of optical indicators for potato crop nitrogen status assessment including novel approaches based on leaf fluorescence and flavonoid content. *Journal of Plant Nutrition*, 41(20), 2705–2728. Verkregen van <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2018.1510514> doi: 10.1080/01904167.2018.1510514
- Boerenbond. (2015). *Van zaadje tot begoniatapijt* (nr. 2 september). Op 2019-03-03 verkregen van <https://www.boerenbond.be/kenniscentrum/boer-in-de-kijker/van-zaadje-tot-begoniatapijt>
- Boerenbond. (2016). *Export sierteelt onder druk: 2 jaar na de Ruslandboycot*. Op 2019-03-03 verkregen van <https://www.boerenbond.be/kenniscentrum/onderwerpen/export-sierteelt-onder-druk-2-jaar-na-de-ruslandboycot>
- Boerenbond. (2019). *MAP 6 wordt een harde noot om te kraken*. Op 2019-04-02 verkregen van <https://www.boerenbond.be/pers/persbericht/  Ijmap-6-wordt-een-harde-noot-om-te-kraken  Ij>
- Bowen, T. R., Hopkins, B. G., Ellsworth, J. W., Cook, A. G. & Funk, S. A. (2005). in-Season Variable Rate N in Potato and Barley Production Using Optical Sensing Instrumentation.

- Western Nutrient Management Conference*, 6, 141–148.
- Broge, N. & Leblanc, E. (2001, may). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 156–172. Verkregen van <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425700001978> doi: 10.1016/S0034-4257(00)00197-8
- Buiten, H. & Clevers, J. (1990). *Remote Sensing , theorie en toepassingen van landobservatie*. Wageningen: Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie (Pudoc).
- Bullock, D. G. & Anderson, D. S. (1998, apr). Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition*, 21(4), 741–755. Verkregen van <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169809365439> doi: 10.1080/01904169809365439
- Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A., Bort, J., Nogués, S. & Araus, J. (2011). NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*, 39(1), 147–159. doi: 10.1556/CRC.39.2011.1.15
- Cambien, K. (2018). *West-Vlaamse chrysantentelers zijn 'incontournable'*. Op 2019-03-08 verkregen van <http://www.madeinwest-vlaanderen.be/nieuws/west-vlaamse-chrysantentelers-zijn-incontournable/>
- Casa, R., Castaldi, F., Pascucci, S. & Pignatti, S. (2015). Chlorophyll estimation in field crops: An assessment of handheld leaf meters and spectral reflectance measurements. *Journal of Agricultural Science*, 153(5), 876–890. doi: 10.1017/S0021859614000483
- Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Ghazlen, N. B. & Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum*, 146(3), 251–260. doi: 10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x
- Chang, J., Clay, D., Clay, S. & Reese, C. (2013, jan). Using Field Scouting or Remote Sensing Technique to Assess Soybean Yield Limiting Factors..
- Cho, M. A. & Skidmore, A. K. (2006). A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: The linear extrapolation method. *Remote Sensing of Environment*, 101(2), 181–193. doi: 10.1016/j.rse.2005.12.011
- Cohen, Y., Zusman, Y., Alchanatis, V., Dar, Z., Bonfil, D., Zilberman, A., ... Shenger, M. (2007). Nitrogen prediction in potato petioles based on spectral data and hyperspectral images. *Precision agriculture '07. Papers presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture*(January), 143–150. Verkregen van <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&CSC=Y&NEWS=N&PAGE=fulltext&D=caba6&AN=20073176040>
- Cropscan. (2018). *CROPSCAN, Inc. Multispectral Radiometers*. Op 2019-03-19 verkregen van <http://www.cropscan.com/msr.html>

- De Standaard. (2019, may). *Vlaams Parlement keurt nieuw mestactieplan goed*. Groot-Bijgaarden. Verkregen van http://www.standaard.be/cnt/dmf20190522_04417504
- Debaeke, P., Rouet, P. & Justes, E. (2006, jan). Relationship Between the Normalized SPAD Index and the Nitrogen Nutrition Index: Application to Durum Wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 29(1), 75–92. Verkregen van <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160500416471> doi: 10.1080/01904160500416471
- de Vries, W. (2008). *Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid* (Rapport). Wageningen: Alterra Wageningen Universiteit en Research Centrum.
- Dewitte, A. (2010). *Exploitation of 2n pollen to create genetic variation in the genus Begonia*. (Academisch proefschrift). Ghent University, Gent.
- EIP-AGRI. (2015). *EIP-AGRI Focus Precision Farming* (Rapport nr. November). Brussel: Auteur.
- Elementar Analysensysteme GmbH. (z. j.). *vario MACRO cube* (Rapport). Hanau: Elementar Analysensysteme GmbH.
- Elementar Analysensysteme GmbH. (2016). *vario MACRO cube* (Rapport). Langenselbold: Elementar Analysensysteme GmbH. Verkregen van https://www.elementar.de/fileadmin/user_upload/Elementar_Website/Downloads/Flyer/Flyer-vario-MACRO-cube-EN.pdf
- Elementar Analysensysteme GmbH. (2017). *CNS determination in plant material with the vario MACRO cube CNS* (Rapport). Langenselbold: Elementar Analysensysteme GmbH.
- European Commission. (2018). *The Nitrates Directive*. Op 2019-03-09 verkregen van http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index_en.html
- Europese Commissie. (2010). *De Europese nitraatrichtlijn* (Rapport). Verkregen van <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/nitrates/nl.pdf>
- FAO. (2019). *FAOSTAT*. Op 2019-02-18 verkregen van <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Force A. (2013). *Dualex Scientific + Tm Any Plants & Leaves Measurements Recorded & Sorted* (Rapport). Force A.
- Gamon, J. A., Field, C. B., Goulden, M. L., Griffin, K. L., Hartley, A. E., Joel, G., ... Valentini, R. (1995). Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. *Ecological Applications*, 5(1), 28–41. doi: 10.2307/1942049
- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N. & Lichtenthaler, H. K. (1996, jan). Detection of Red Edge Position and Chlorophyll Content by Reflectance Measurements Near 700 nm. *Journal of Plant Physiology*, 148(3-4), 501–508. Verkregen van <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161796802859> doi: 10.1016/S0176-1617(96)80285-9
- Gitelson, A. A. & Merzylak, M. N. (1998). Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in Space Research*, 22(5), 689–692.

- Gonzalez Toro, F. & Tsourdos, A. (2018). *UAV Sensors for Environmental Monitoring* (F. G. Toro & A. Tsourdos, red.). Basel, Switzerland: MDPI. Verkregen van <https://eprints.qut.edu.au/116800/> doi: 10.3390/books978-3-03842-754-4
- Gordon, C. (2004). *Botanica* (1th dr.). Konemann Verlagsgesellschaft.
- Goulas, Y., Cerovic, Z. G., Cartelat, A. & Moya, I. (2004). Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. *Applied Optics*, 43(23), 4488. doi: 10.1364/ao.43.004488
- Govaerts, B. & Verhulst, B. (2010). *The normalized difference vegetation index (NDVI) Green-Seeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. Mexico* (Rapport). CIMMYT.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J. & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 337–352. doi: 10.1016/j.rse.2003.12.013
- Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J. & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3), 416–426. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00018-4
- Haec, B. (2019, mar). *Boerenbond vindt nieuw mestactieplan harde noot om te kraken*. Brussel. Verkregen van <https://www.tijd.be/politiek-economie/belgie/vlaanderen/boerenbond-vindt-nieuw-mestactieplan-harde-noot-om-te-kraken/10111048.html>
- Hatfield, J. L. & Prueger, J. H. (2010). Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. *Remote Sensing*, 2(2), 562–578. doi: 10.3390/rs2020562
- Herrmann, I., Pimstein, A., Karnieli, A., Cohen, Y., Alchanatis, V. & Bonfil, J. D. (2010). UTILIZING THE VEN mu S RED-EDGE BANDS FOR ASSESSING LAI IN CROP FIELDS. *Core Spatial Databases - Updating, Maintenance and Services - from Theory to Practice*, 38-4-8(2W), 34–39.
- Hvoslef-Eide, A. K. & Munster, C. (2006). Begonia : History and breeding. In N. O. Anderson (red.), *Flower breeding and genetics* (pp. 241–275). doi: 10.1007/978-1-4020-4428-1
- James, E. C. & van Iersel, M. W. (1999). Fertilizer Concentration Affects Growth and Nutrient Composition of Subirrigated Petunias and Begonias. *HortScience*, 34(1), 660.
- Kanke, Y., Raun, W., Solie, J., Stone, M. & Taylor, R. (2012, jul). RED EDGE AS A POTENTIAL INDEX FOR DETECTING DIFFERENCES IN PLANT NITROGEN STATUS IN WINTER WHEAT. *Journal of Plant Nutrition*, 35(10), 1526–1541. Verkregen van <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2012.689912> doi: 10.1080/01904167.2012.689912
- Khoddamzadeh, A. A. & Dunn, B. L. (2019). Application of Optical Sensors for Nitrogen Management in Chrysanthemum. *HortScience*, 51(7), 915–920. doi:

10.21273/hortsci.51.7.915

Kikkert, A. (2009). *Sensingsystemen voor Bodem en Gewas ten Behoeve van Precisielandbouw* (Rapport). Tilburg: HLB.

KMI. (2019). *Klimatologisch overzicht 2018* (Rapport). Brussel: het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België. Verkregen van https://www.meteo.be/resources/climateReportWeb/klimatologisch_jaaroverzicht_2018.pdf

Knipling, E. B. (1970). *Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation* (Dl. 1). doi: 10.1016/S0034-4257(70)80021-9

Kochubey, S. M. & Kazantsev, T. A. (2012). Derivative vegetation indices as a new approach in remote sensing of vegetation. *Frontiers of Earth Science*, 6(2), 188–195. doi: 10.1007/s11707-012-0325-z

Kooistra, L. & Clevers, J. G. P. W. (2016, jun). Estimating potato leaf chlorophyll content using ratio vegetation indices. *Remote Sensing Letters*, 7(6), 611–620. doi: 10.1080/2150704X.2016.1171925

Kros, H., Vries, W. D., Pul, A. V., Wattel-koekkoek, E., Kruit, W., Herk, K. V. & Frumau, A. (2018). Effecten van het verzurings- en ammoniakbeleid. *V-Focus*(juni), 26–33.

Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M. & Champagne, C. (2015). Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34(1), 235–248. Verkregen van <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.002> doi: 10.1016/j.jag.2014.08.002

Landbouwleven. (2019a). *MAP6 strenger dan oorspronkelijk*. Op 2019-04-02 verkregen van <https://www.landbouwleven.be/4948/article/2019-03-28/map6-strenger-dan-oorspronkelijk>

Landbouwleven. (2019b). *MAP6: strenger, maar met inspraak van de boer*. Op 2019-04-02 verkregen van <https://www.landbouwleven.be/4580/article/2019-02-01/map6-strenger-maar-met-inspraak-van-de-boer>

Landbouwleven. (2019c). *Teveel mest in Vlaamse beken en rivieren*. Op 2019-04-02 verkregen van <https://www.landbouwleven.be/4803/article/2019-03-04/teveel-mest-vlaamse-beken-en-rivieren>

Landelijke Gilden. (2017). *Belgische begonia's te bewonderen*. Op 2019-03-17 verkregen van <https://www.landelijkegilden.be/informer/actualiteit/belgische-begonia's-te-bewonderen>

Liu, W., Zhu, D. W., Liu, D. H., Geng, M. J., Zhou, W. B., Mi, W. J., ... Hamilton, D. (2010, jan). Influence of nitrogen on the primary and secondary metabolism and synthesis of flavonoids in *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Journal of Plant Nutrition*, 33(2), 240–254. Verkregen van <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160903434287> doi:

10.1080/01904160903434287

- Lu, C. & Zhang, J. (1999). Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. *Journal of Experimental Botany*, 50(336), 1199–1206. doi: 10.1093/jexbot/50.336.1199
- Meyer, S., Cerovic, Z. G., Goulas, Y., Montpied, P., Demotes-Mainard, S., Bidel, L. P., ... Dreyer, E. (2006). Relationships between optically assessed polyphenols and chlorophyll contents, and leaf mass per area ratio in woody plants: A signature of the carbon-nitrogen balance within leaves? *Plant, Cell and Environment*, 29(7), 1338–1348. doi: 10.1111/j.1365-3040.2006.01514.x
- Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-Gonzalez, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J. & Ocampo-Velazquez, R. V. (2013). A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: Advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors (Switzerland)*, 13(8), 10823–10843. doi: 10.3390/s130810823
- Nguy-Robertson, A., Gitelson, A., Peng, Y., Viña, A., Arkebauer, T. & Rundquist, D. (2012). Green leaf area index estimation in maize and soybean: Combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy Journal*, 104(5), 1336–1347. doi: 10.2134/agronj2012.0065
- PCS. (2018). *Kostprijsberekening Kostprijsberekening en en rentabiliteit rentabiliteit in in de de sierteelt* (Rapport). Destelbergen: Proefcentrum voor Sierteelt.
- Peñuelas, J., Baret, F. & Filella, I. (1995). Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2), 221–230.
- Peñuelas, J. & Filella, L. (1998). Technical focus: Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science*, 3(4), 151–156. doi: 10.1016/S1360-1385(98)01213-8
- Peñuelas, J., Gamon, J., Fredeen, A., Merino, J. & Field, C. (1994, may). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 135–146. Verkregen van <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425794901368> doi: 10.1016/0034-4257(94)90136-8
- Pitchay, D. S., Frantz, J. M., Locke, J. C., Krause, C. R. & Fernandez, G. C. J. (2019). Impact of Applied Nitrogen Concentration on Growth of Elatior Begonia and New Guinea Impatiens and Susceptibility of Begonia to Botrytis cinerea. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(2), 193–201. doi: 10.21273/jashs.132.2.193
- Platteau, J., Lambrechts, G., Roels, K. & Van Bogaert, T. (2018). *LaRa '18: Uitdagingen voor de Vlaamse Land-en Tuinbouw* (Rapport nr. december). Brussel: Departement Landbouw en Visserij.
- Plattelandswijzer. (2005). *Sierteelt*. Op 2019-02-26 verkregen van <http://plattelandswijzer.nettools.be/default.aspx?PageId=178>
- Reynolds, M. & Ortiz-Monasterio, J. (2002). *Application of Physiology in Wheat Breeding*. (DI. 42) (nr. 6). doi: 10.2135/cropsci2002.2228

- Richardson, A. D., Duigan, S. P. & Berlyn, G. P. (2002). An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content Andrew. *New Phytologist*, 153, 185–194.
- Ros, G. & Bussink, D. (2012). *Ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijmesten van gewassen* (Rapport). Wageningen: Nutriënten Management Instituut NMI. Verkregen van [http://precisielandbouw.eu/ppnl/Portals/0/Documenten/Resultaten/075rapport 13 deel opdracht 1454.N.11 - def.pdf](http://precisielandbouw.eu/ppnl/Portals/0/Documenten/Resultaten/075rapport%2013%20deel%20opdracht%201454.N.11%20-%20def.pdf)
- Royal Botanic Garden Edinburgh. (2019). *Begonia Resource Centre*. Op 2019-03-01 verkregen van <https://padme.rbge.org.uk/Begonia/home>
- Saravia, D., Farfán-Vignolo, E. R., Gutiérrez, R., De Mendiburu, F., Schafleitner, R., Bonierbale, M. & Khan, M. A. (2016). Yield and Physiological Response of Potatoes Indicate Different Strategies to Cope with Drought Stress and Nitrogen Fertilization. *American Journal of Potato Research*, 93(3), 288–295. Verkregen van <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-016-9505-9> doi: 10.1007/s12230-016-9505-9
- Schaepman-Strub, G., Schaepman, M. E., Painter, T. H., Dangel, S. & Martonchik, J. V. (2006). Reflectance quantities in optical remote sensing-definitions and case studies. *Remote Sensing of Environment*, 103(1), 27–42. doi: 10.1016/j.rse.2006.03.002
- Schoeters, L., Adriaenssens, S., Van Haecke, D., Deckers, S. & Elsen, A. (2019). *Duurzame bemesting in vollegrondssierteelt* (Rapport). Destelbergen: Proefcentrum voor Sierteelt.
- Sharma, L. K., Bu, H., Denton, A. & Franzen, D. W. (2015). Active-optical sensors using red NDVI compared to red edge NDVI for prediction of corn grain yield in north Dakota, U.S.A. *Sensors (Switzerland)*, 15(11), 27832–27853. doi: 10.3390/s151127832
- Spaargaren, J. J. (2015). *Origin & Spreading of the Cultivated Chrysanthemum: World Market Analysis of Cut Flowers: Rose, Chrysanthemum, Carnation*. Verkregen van <https://books.google.be/books?id=TCKwjwEACAAJ>
- Statbel. (2018). *Kerncijfers landbouw* (Rapport). Brussel: Auteurs.
- Tang, Q., Li, S.-k., Wang, K.-r., Xie, R.-z., Chen, B., Wang, F.-y., ... Xiao, C.-h. (2010). Monitoring Canopy Nitrogen Status in Winter Wheat of Growth Anaphase with Hyperspectral Remote Sensing. *Guang pu xue yu guang pu fen xi Guang pu*, 30, 3061–3066. doi: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)11-3061-06
- Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D. & Agati, G. (2004). Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of. *New Phytologist*, 163, 547–561.
- Thenkabail, P. S., Lyon, J. G. & Huete, A. (2018). *Advanced Applications in Remote Sensing of Agricultural Crops and Natural Vegetation* (2nd dr.). CRC Press.
- Thoren, D. & Schmidhalter, U. (2009, apr). Nitrogen status and biomass determination of oilseed rape by laser-induced chlorophyll fluorescence. *European Journal of Agronomy*, 30(3), 238–242. Verkregen van <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030108001287>

- doi: 10.1016/J.EJA.2008.12.001
- Tremblay, N., Wang, Z. & Bélec, C. (2007, sep). Evaluation of the Dualex for the Assessment of Corn Nitrogen Status. *Journal of Plant Nutrition*, 30(9), 1355–1369. Verkregen van <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160701555689> doi: 10.1080/01904160701555689
- Tremblay, N., Wang, Z. & Cerovic, Z. G. (2012). Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 451–464. doi: 10.1007/s13593-011-0041-1
- Triangle AG-services. (2015). GreenSeeker.
- Trimble. (2010a). *Greenseeker handheld Greenseeker rt100 system* (Rapport). Westminster: Auteur.
- Trimble. (2010b). *User Guide GreenSeeker 505 Handheld Sensor* (Rapport). Auteur.
- Trimble. (2012). *GreenSeeker® Handheld Crop Sensor Quick Reference Card* (Rapport). Auteur. Verkregen van http://www.farmworks.com/files/pdf/GreenSeekerHCS/GreenSeekerQRC_91500-00-ENG_Screen.pdf
- Trimble. (2017). *GreenSeeker* (Rapport). Auteur.
- Van Bogaert, T., Janssens, R. & Maertens, E. (2018). *FOCUS: Toepassing van precisielandbouwtechnieken* (Rapport). Brussel: Departement Landbouw en Visserij.
- van der Schans, D., Blok, P., Blok, D. & van Os, G. (2011). *WURKS lesmodules precisielandbouw voor MBO & HBO* (Rapport). Lelystad: Wageningen UR.
- van Eysinga, J. P. N. L. R. & Smilde, K. W. (1980). *Nutritional disorders in chrysanthemums*. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation. doi: 10.1016/0304-4238(82)90013-9
- VILT. (2019a). *Boeren krijgen MAP 6 door de strot geramd*. Op 2019-04-02 verkregen van <http://www.vilt.be/boeren-krijgen-map-6-door-de-strot-geramd>
- VILT. (2019b). *MAP6: verregaand of doelloos zoals Natuurpunt zegt?* Op 2019-04-02 verkregen van <http://www.vilt.be/map6-verregaand-of-doelloos-zoals-natuurpunt-zegt>
- Vlaamse Landmaatschappij. (2017). *Nitraatresidurapport 2017* (Rapport). Vlaamse Landmaatschappij.
- Vlaamse Landmaatschappij. (2018a). *6de actieprogramma in uitvoering van de nitraatrichtlijn: ontwerp actieprogramma* (Rapport). Vlaamse Landmaatschappij.
- Vlaamse Landmaatschappij. (2018b). *Mestrapport 2018* (Rapport). Brussel: Vlaamse Landmaatschappij.
- Vlaamse Landmaatschappij. (2018c). *Normen en Ricthwaarden 2018* (Rapport). Verkregen van https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/bemestingsnormen_2018.pdf
- Vlaamse Landmaatschappij. (2019). *Focusgebied Nitraat 2019*. Op 2019-03-09 verkregen van <https://www.vlm.be/nl/themas/Mestbank/bemesting/gronden/kwetsbare-gebieden/focusgebieden/Paginas/default.aspx>

- Vlaamse Milieumaatschappij. (2018). *Vermesting & Verzuring*. Op 2019-03-28 verkregen van <https://www.milieuraapport.be/milieuthemas/vermesting-verzuring>
- VLAM. (2018a). Aantal bedrijven met sierteelt (in hoofd- en nevenberoep) in België. *Sierteeltbarometer 2018*, 1.
- VLAM. (2018b). Belgische export van niet-eetbare tuinbouwproducten (in 1.000 euro) per productgroep. *Sierteeltbarometer 2018*, 1-4.
- VLAM. (2018c). Belgische sierteeltoppervlakte (in Ha). *Sierteeltbarometer 2018*, 1-3.
- VLAM. (2018d). Raming Belgische productiewaarde sierteelt (in miljoen euro). *Sierteeltbarometer 2018*, 1-5.
- Wang, P., Huang, F. & Liu, X. N. (2016). A simple interpretation of the rice spectral indices space for assessment of Heavy Metal stress. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41(July), 129-135. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B7-129-2016
- Warren, C. R. (2008). Rapid measurement of chlorophylls with a microplate reader. *Journal of Plant Nutrition*, 31(7), 1321-1332. doi: 10.1080/01904160802135092
- Winckelmans, W. (2019, mar). *Vlaamse regering pakt overbemesting harder aan*. Groot-Bijgaarden. Verkregen van http://www.standaard.be/cnt/dmf20190325_04280571
- Xu, X., Gu, X., Song, X., Li, C. & Huang, W. (2011). Assessing Rice Chlorophyll Content with Vegetation Indices from Hyperspectral Data. *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. CCTA 2010. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 334, 296-303.
- Yang, H., Yang, J., Lv, Y. & He, J. (2014, jan). SPAD Values and Nitrogen Nutrition Index for the Evaluation of Rice Nitrogen Status. *Plant Production Science*, 17(1), 81-92. Verkregen van <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1626/ppp.17.81> doi: 10.1626/ppp.17.81
- Yu, J., Li, F., Qin, Y.-L. & Fan, M.-S. (2013). Active Crop Canopy Sensor-Based Nitrogen Diagnosis for Potato. *Guang pu xue yu guang pu fen xi Guang pu*, 33, 3092-3097.
- Yule, I., Mackenzie, J., Killick, M. & Mackenzie, C. (2011). A comparison of crop sensor systems for informing fertilizer placement. *Adding to the knowledge base for the nutrient manager. Occasional Report(24)*, 1-7.
- Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Mohammed, G. H., Noland, T. L. & Sampson, P. H. (2002). Vegetation stress detection through chlorophyll a + b estimation and fluorescence effects on hyperspectral imagery. *Journal of environmental quality*, 31(5), 1433-41. Verkregen van <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12371159>