

GEWASMONITORING MET EEN MULTISPECTRALE CAMERA

Pieter Moeneclaey

Stamnummer: 01303040

Promotor: Prof. dr. ir. Bart Sonck

Copromotor: dr .ir. Simon Cool, dr. ing. Tim Van De Gucht

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad master in de richting Master of Science in de biowetenschappen: land- en tuinbouwkunde

Academiejaar: 2017 - 2018

GEWASMONITORING MET EEN MULTISPECTRALE CAMERA

Pieter Moeneclaey

Stamnummer: 01303040

Promotor: Prof. dr. ir. Bart Sonck

Copromotor: dr. ir. Simon Cool, dr. ing. Tim Van De Gucht

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad master in de richting Master of Science in de biowetenschappen: land- en tuinbouwkunde

Academiejaar: 2017 - 2018

“De auteur en de promotor geven de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperking van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.”

8 juni 2018

Voorwoord

In functie van mijn diploma Master in de biowetenschappen: land- en tuinbouwkunde afstudeerrichting plantaardige en dierlijke productie aan de Faculteit van Bio-ingenieurswetenschappen keer ik de kans om mij te verdiepen in de wonderwereld van de precisielandbouw. Het onderwerp sprak mij vooral aan doordat precisielandbouw “hip” is en vaak onvolledig gekend is onder de Vlaamse landbouwers. Want vele denken dat precisielandbouw slechts het rijden van rechte lijnen is, maar zij zijn volledig mis. Precisielandbouw is veel meer dan dat en dit bleek al snel in mijn literatuurstudie. Ik stootte van de ene toepassing op de andere zodanig dat ik zelf even het noorden kwijt was. Dit zorgde er zelfs voor dat ik me inschreef voor het vak ‘Precision Agriculture’ gedoceerd door professor Abdul M. Mouazen (Ugent). Na het volgen van zijn cursus besepte ik dat precisielandbouw te complex en uitgebreid is om in één masterthesis te bespreken. Waardoor ook mijn masterthesis wat groter uitviel dan verwacht...

Deze masterthesis heeft mezelf verbaasd en tot verrassende resultaten geleidt die ik zelf niet had durven denken. Daarnaast heb ik veel bijgeleerd en daarom wil ik deze personen die me hierbij hielpen bedanken. Als eerste zou ik graag dr. Ir. Simon Cool (ILVO) willen bedanken voor de goede opvolging van mijn masterthesis en het “chinees” van matlab te vertalen. Daarnaast bedank ik dr. Ing. Tim Van De Gucht (ILVO) om samen met Simon mijn communicatiepunt te zijn met ILVO en voor de uren die hij in mijn masterthesis gependend heeft. Andere helpers binnen het ILVO verdienen ook een applaus zoals Jelle Lecomte (ILVO) voor het stitchen van de beelden, Micheal Van Hijfte (ILVO) voor de hulp op de percelen, de dronepiloten en Stephanie Van Weyenberg (ILVO) om mijn statistiek na te kijken. Daarnaast verdient landbouwer Daniel Tavernier een bedanking voor het beschikbaar stellen van zijn preiveld te Schelderode. Vervolgens wil ik ILVO in het algemeen bedanken voor het ten beschikking stellen van het nodige materiaal en gronden voor mijn proeven.

Naast de personen waarmee ik wekelijks in contact was, wil ik ook prof. Ir. Bart Sonck (ILVO) bedanken voor toekennen van dit onderwerp en het verbeteren van mijn thesis. En mij dus de kans gunnen om de wereld van de precisielandbouw te verkennen.

Om te eindigen zou ik nog graag mijn ouders, vriendin en vrienden bedanken voor de dagelijkse steun en raad waar ik het nodig had.

Pieter Moeneclaey

Abstract

Multispectrale camera's kunnen op veel manieren gebruikt worden en hebben vele doeleindes. Maar welke toepassingen zijn effectief nuttig? Daarom wordt er in deze masterthesis gezocht naar een toepassing voor deze sensoren in de landbouw. Deze sensoren kunnen reflecties meten in specifieke banden in het elektromagnetisch spectrum die meer vertellen over de toestand van de plant. Maar hoe moeten deze waardes geïnterpreteerd worden? Aan de hand van parameters opgesteld via reflectie metingen met een multispectrale camera, namelijk de Parrot Sequoia wordt nagegaan of bepaalde plantparameters gebruikt kunnen worden in de landbouw. Deze plantparameters NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI worden uitvoerig getest om verschillen in gewassamenstelling op te meten, stikstofbemesting in te schatten en opbrengstbepalingen uit te voeren. De verschillen in gewassamenstelling werden nagegaan aan de hand van een grasklaver veld waar drie proefveldjes onderzocht werden. Na het bepalen van de verhoudingen gras klaver en de NDRE werd een correlatie $r^2 = 0,9952$ bekomen. Om een variabele stikstofbemesting op te stellen bleek dat NDVI en NDRE goede parameters zijn om dit te doen. Maar een combinatie van beide ook mogelijk is via CCCI waarbij de CCCI in relatie met de bemesting een correlatie $r^2 = 0,8532$ oplevert. Als laatste proef werd nagegaan of een multispectrale camera een goede parameter zou zijn om de opbrengst in te schatten. Na vergelijking op van de verschillende parameters bleek NDVI op basis van de mediaan per proefveldje de beste parameter te zijn met een correlatie $r^2 = 0,9792$.

Hieruit kan er dus besloten worden dat multispectrale camera's weldegelijk toepasbaar zijn in de landbouw. Dit om gewassamenstelling, stikstofbemesting uit te voeren en opbrengst te bepalen. Wel kan de betrouwbaarheid van de sensor in vraag gesteld worden en is er nood naar meer onderzoek naar het vergelijken van verschillende sensoren en software voor verwerking van de beelden.

Inhoudstafel

Voorwoord	iii
Abstract	iv
Inhoudstafel	v
Lijst van figuren	vii
Lijst van tabellen	xii
Hoofdstuk 1 - Inleiding	1
Hoofdstuk 2 - Literatuurstudie	3
1 Algemeen	3
2 Precisielandbouw 1.0	3
2.1 Positioneringstechnologie	4
GNSS.....	4
DGPS.....	5
EGNOS	5
Real Time Kinetic.....	5
Laser optical navigation system	6
Nauwkeurigheid van verschillende sturingssystemen	7
2.2 Toepassingen binnen precisielandbouw	7
2.2.1 Sturingssystemen	7
2.2.2 Telematica	10
2.2.3 Controlled traffic farming (CTF).....	11
3 Precisielandbouw 2.0	12
3.1 Sensing technologie.....	14
3.1.1 Gewas: monitoren van gewasparameters	14
3.1.2 Sensoren.....	21
3.1.3 Utrasoonsensoren en lasersensoren.....	45
3.1.4 Bodem: monitoren van bodemparameters	46
3.1.5 Lucht: monitoren van luchtcondities	56
3.2 Reacting Technologies	57
3.2.1 Variable rate application	57
3.2.2 Mechanische onkruidbestrijding.....	67
4 Precisielandbouw 3.0	69
5 Precisielandbouw 4.0 of digital farming	73
6 Besluit	74
Hoofdstuk 3 – Praktische proef	76

1	Algemeen	76
2	Gras-klover veld	76
2.1	Inleiding	76
2.2	Proefopstelling.....	76
2.3	Werkwijze	78
2.3.1	Experiment 1	78
2.3.2	Experiment 2	82
2.4	Resultaten.....	84
2.4.1	Experiment 1	84
2.4.2	Experiment 2	87
2.5	Bespreking	91
2.5.1	Experiment 1	91
2.5.2	Experiment 2	92
3	Tarwe	93
3.1	Inleiding	93
3.2	Werkwijze	94
3.3	Resultaten.....	99
3.4	Bespreking	114
4	Prei	117
4.1	Inleiding	117
4.2	Werkwijze	118
4.3	Resultaten en bespreking	120
5	Discussie.....	126
	Hoofdstuk 4 – Algemeen besluit	135
	Referentielijst	137
	Bijlagen.....	143
1	Bijlage 1.....	143
2	Bijlage 2.....	147
3	Bijlage 3.....	151
4	Bijlage 4.....	157
5	Bijlage 5.....	162
6	Bijlage 6.....	164
7	Bijlage 7.....	169

Lijst van figuren

Figuur 1 Schematische weergave van trilateratie van drie satellieten	4
Figuur 2 Opbouw van een DGPS systeem (Lagios et al., 2007).....	5
Figuur 3 3D positie van trekker bepaald met behulp van Laser optical navigation system (Holmqvist, 1993).....	6
Figuur 4 Voorbeeld van een eenvoudige display met bovenaan een lichtbalk (Agrometius, 2017)	8
Figuur 5 EZ-steer (Agrometius, 2017)	8
Figuur 6 EZ-pilot (Agrometius, 2017)	9
Figuur 7 Trimble TMX 2050 is een precisielandbouw scherm dat werkt op Android en is bedienbaar als een tablet (Agrometius, 2017).	10
Figuur 8 Voorbeeld van CTF toepassing	11
Figuur 9 Verschil in absorptiespectrum tussen chlorofyl a en b	15
Figuur 10 Elektromagnetisch spectrum van licht.....	16
Figuur 11 Overzicht van reflectie, absorptie en transmissie in een blad (Schans et al, 2011)	16
Figuur 12 Licht absorptie bij planten binnen het zichtbaar licht (Reder, 2016)	17
Figuur 13 Weergave van vijf gewassen met verschillende LAI volgens reflectie in het red edge gebied (Cheng et al, 2015)	18
Figuur 14 Schematische voorstelling van reflectie en transmissie van zichtbare en NIR licht door drie bladlagen (Reder, 2016)	19
Figuur 15 Gewasreflectie van licht in relatie tot golflengte (Ros & Bussink, 2012).....	19
Figuur 16 Voorbeeld van een RGB camera	21
Figuur 17 Voorstelling van een hyperkubus met x- en y-vlak als spatiale resolutie en λ -vlak als spectrale resolutie.....	22
Figuur 18 Voorstelling van methodes voor het benaderen van een multispectrale kubus met x en y de spatiale resolutie en λ de spectrale resolutie Pijlen stellen scan richting voor, grijze oppervlaktes stellen gescande gegevens voor in één scan (Qin et al, 2013).....	23
Figuur 19 Twee voorbeelden van imaging spectrographs: a) prism-grating-prism (PGP) imaging spectrograph en b) Offner imaging spectrograph (Qin et al, 2013).....	25
Figuur 20 Werkingsprincipe van a) AOTF en b) LCTF (Morris et al, 1994)	26
Figuur 21 Werkingsprincipe van lichtbundel splitsend toestel voor multispectrale imaging. a) detectie op twee golflengtes b) detectie op drie golflengtes (Peng & Lu, 2006).....	27
Figuur 22 Schematische voorstelling van fouten die kunnen ontstaan tijdens het veranderen van hoek van de zon. Waarbij recht enkel het rode licht het oppervlak bereikt (zonsondergang) en links het blauw licht zorgt voor diffusie en de blauw kleur van de hemel	27
Figuur 23 Foto van twee reflectieplaten in het NIR-gebied: links plaat met 50% reflectie, rechts plaat met 100% reflectie	28
Figuur 24 Schets van invloed BRDF	28
Figuur 25 relatie tussen gewasontwikkeling en spectra in NIR-RED (Silleos et al, 2006)	30
Figuur 26 Voorbeeld van een Normalised difference vegetation index map (MicaSense, 2017c) rood = lage NDVI, groen = hoge NDVI.....	31
Figuur 27 Voorbeeld van een Color infra-red map (MicaSense, 2017c).....	31
Figuur 28 Voorbeeld van een Normalised difference red edge map (MicaSense, 2017c) rood = lage NDRE, blauw = hoge NDRE	32
Figuur 29 Relatie tussen NDVI en NDRE om CCCI te berekenen (Fitzgerald, Rodriguez et al., 2010)...	33

Figuur 30 Verhouding tussen %N en droge stof (Fitzgerald, Rodriguez et al., 2010)	33
Figuur 31 Voorbeeld van een Chlorophyll-map (MicaSense, 2017c) rood = lage gehalte aan chlorofyl, groen = hoge gehalte aan chlorofyl.....	34
Figuur 32 Voorbeeld van een Optimized soil adjusted vegetation index –map (MicaSense, 2017c) rood = lage OSAVI, Blauw= hoge OSAVI	35
Figuur 33 Voorbeeld van een digital surface model, hier stelt het kleurverschil, een verschil in hoogte voor (MicaSense, 2017a).....	35
Figuur 34 Schets van een CubeSat bestaande uit 2 units met verschillende onderdelen	39
Figuur 35 Tekening van CubeSats als wolken in de ruimte (Boshuizen, Mason et al., 2014)	39
Figuur 36 Parrot Sequoia (links) met zonnensensor (rechts) (Parrot, 2017a)	40
Figuur 37 Vergelijking tussen hoogte en snelheid van de drone met de tijd tussen twee genomen foto's met overlap van 80% (Parrot, 2017b).	41
Figuur 38 Greenseeker geïnstalleerd op tractor(Trimble, 2017).	43
Figuur 39 Werkingsprincipe van Weedseeker toegepast met VRA (Trimble, 2017).....	43
Figuur 40 CropSec gemonteerd op tractor (TOPCON, 2016)	44
Figuur 41 Afbeelding van Yara N-sensor met werkingsgebied	44
Figuur 42 Beschikbaarheid van elementen volgens pH van de bodem (Baert, 2016b).....	47
Figuur 43 Specifieke spectrums voor secundaire factoren gebaseerd op primaire factoren (Mouazen A.,2018)	50
Figuur 44 voorstelling van de Veris MSP3 bodemscanner om rijdend pH, elektrische geleidbaarheid en het gehalte aan organisch materiaal te meten (Kweon et al, 2012).....	53
Figuur 45 Stemaafdruk van Veris SoilViewer software met kaarten van elektrische geleidbaarheid (EC), pH en rood licht reflectie (RED) (Kweon et al, 2012)	54
Figuur 46 Schematische tekening van de werking van EM-38 bodemscanner (Lukas et al, 2009)	55
Figuur 47 Schematische tekening van een online Multi-sensor (Mouazen, Alhwaimel et al., 2014) ...	55
Figuur 48 Afbeelding van een pneumatische zaaimachine van het merk Kverneland met het aandrijvingswiel aangeduid met een pijl.....	58
Figuur 49 Voorstelling van een radarsysteem dat gemonteerd kan worden op een tractor (soms standaard) of werktuig (Dickey-John, 2018)	59
Figuur 50 Voorstelling van geschrant zaaien. De zaden liggen op maximale afstand van elkaar zodat een zo groot mogelijke groeioppervlak ter beschikking komt.	59
Figuur 51 Chemisch bestrijdingssysteem gebaseerd op vloeistofstroom (Grisso et al, 2011)	60
Figuur 52 Directe centralized chemische injectie systeem (Grisso et al, 2011).....	61
Figuur 53 Spraying nozzle control system (Grisso et al, 2011)	62
Figuur 54 Vijzelstrooier aan het werk	63
Figuur 55 Foto genomen van een Prolog centrifugaal strooier voor bekalken	63
Figuur 56 Stalmeststrooier van fabrikant Joskin	64
Figuur 57 Mengmestverspreider van de fabrikant Joskin.....	65
Figuur 58 Schets van tractor met mengmestverspreider uitgerust met Harvestlab	65
Figuur 59 Foto van Vicon Ro-XL centrifugaalstrooier	66
Figuur 60 Trekker bezig met maïs zaaien samen met granulaten en rijbemesting	67
Figuur 61 Weeding robot ontwikkeld door Naio Technologies 'aan het werk' in een serre	68
Figuur 62 Autonome aardbeienspuit	70
Figuur 63 Zuringplantherkenningssysteem Ruud met boor (Kempenaar, 2018)	71
Figuur 64 Amazone Bonirob uitgerust met een boor om staalnames uit te voeren	71

Figuur 65 IC cultivator van Steketee BV	72
Figuur 66 RGB gestichte luchtfoto van het perceel	77
Figuur 67 Schematische weergave van proefveld.....	78
Figuur 68 Foto van Parrot Sequoia gemonteerd op statief bij proefveldje 1	79
Figuur 69 Foto getrokken van referentiesysteem gebruikt om te geo-referen.....	79
Figuur 70 Gps-systeem om de exacte locatie van de proefveldjes te bepalen.....	80
Figuur 71 Foto van speciale oogstmachine.....	81
Figuur 72 RGB-beeld van gras klavervel met verschillende proefveldjes aangeduidt: rood = proefveldje 1, geel = proefveldje 4 en blauw = proefveldje 6.....	81
Figuur 73 Foto getrokken van de Sequoia gemonteerd op de drone	82
Figuur 74 NDVI kaart van plot 4 op basis van vlucht 1.....	83
Figuur 75 NDVI kaart van plot 4 op basis van vlucht 2.....	83
Figuur 76 Verschil tussen vlucht 1 en vlucht 2 voor NDVI	83
Figuur 77 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde NDVI	85
Figuur 78 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde NDRE	85
Figuur 79 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde GNDVI.....	86
Figuur 80 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde GRVI.....	86
Figuur 81 Vergelijking gemiddelde NDVI per proefveldje.....	87
Figuur 82 Vergelijking gemiddelde NDRE per proefveldje.....	88
Figuur 83 Vergelijking gemiddelde GNDVI per proefveldje	89
Figuur 84 Vergelijking gemiddelde GRVI per proefveldje	90
Figuur 85 Gestichte RGB beeld op basis van dronevlucht 19 maart 2018	93
Figuur 86 Foto getrokken tijdens eerste bemesting op 21 maart 2018	95
Figuur 87 RGB stitch van drone vlucht 19 maart 2018 waarbij alle bemestingstrappen aangeduid zijn in hetzelfde kleur.....	96
Figuur 88 Voorstelling van verwerkingsproces waarbij de negatieve waarden uit proefveldje 1 verwijderd worden op basis van dronevlucht 19 maart 2018	97
Figuur 89 Grafische voorstelling van berekeningswijze CCCI.....	98
Figuur 90 Verschil in gemiddelde NDVI tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen voorstellen	99
Figuur 91 Verschil in gemiddelde NDRE tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen voorstellen	100
Figuur 92 Verschil in gemiddelde GNDVI tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen zijn.....	101
Figuur 93 Verschil in gemiddelde GRVI tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen zijn.....	102
Figuur 94 Verhouding tussen NDVI 17 april en bemesting	110
Figuur 95 Verhouding tussen NDRE 17 april en bemesting	110
Figuur 96 Verhouding tussen GNDVI 17 april en bemesting.....	110
Figuur 97 Verhouding tussen GRVI 17 april en bemesting	110
Figuur 98 Verhouding tussen NDVI 17 mei en bemesting	111
Figuur 99 Verhouding tussen NDRE 17 mei en bemesting	111
Figuur 100 Verhouding tussen GNDVI 17 mei en bemesting.....	111
Figuur 101 Verhouding tussen GRVI 17 mei en bemesting.....	111
Figuur 102 Relatie tussen CCCI en stikstofbemesting op basis van dronevlucht 17 april 2018.....	113

Figuur 103 Relatie tussen CCCI en stikstofbemesting op basis van dronevlucht 17 mei 2018.....	113
Figuur 104 Schematische voorstelling van limiterend invloed van stikstof op biomassa.....	115
Figuur 105 Foto getrokken op 3 mei 2018 van het wintertarwe perceel; links bemestingstrap 8 en rechts bemestingstrap 5.....	115
Figuur 106 Gestichte RGB foto van het preiveld met aangeduide proefveldjes.....	117
Figuur 107 Gestichtete RGB foto van Proefveldje A aangeduidt als groen vak waarbij rode punten GPS-coördinaten zijn	118
Figuur 108 Proefveldje A uitgeknipt uit NDVI-map waarbij bodempixels verwijderd zijn	118
Figuur 109 Foto genomen van gedroogde preistengel tijdens het afwegen	119
Figuur 110 Weergave van correlatie tussen opbrengst vers en droog plantenmateriaal	120
Figuur 111 Relatie tussen gemiddelde NDVI en opbrengst	121
Figuur 112 Relatie tussen NDVI mediaan en opbrengst	122
Figuur 113 Relatie tussen NDRE gemiddelde en opbrengst	123
Figuur 114 Relatie tussen NDRE mediaan en opbrengst	123
Figuur 115 Relatie tussen GNDVI gemiddelde en opbrengst.....	124
Figuur 116 Relatie tussen GNDVI mediaan en opbrengst.....	125
Figuur 117 Schematisch tekening van dronevlucht met a en b twee parallelle vliegrichtingen en c de overlapping tussen a en b	127
Figuur 118 Duidelijk verschil in waarden voor GRVI door BRDF en te weinig overlapping na stitchen in Agisoft (Agisoft, 1.4.2).....	127
Figuur 119 Reflectiespectrum voor proefveldjes met enkel gras en enkel klaver waar het gebied tussen de groene lijnen = groene band, tussen de rode lijnen = rode band, tussen de zwarte lijnen = red edge en tussen de paarse lijnen = NIR gebied	128
Figuur 120 Nir-reflectiemap van het grasklaver perceel met de verschillende proefveldjes omrandt: rood = proefveldje 1, geel = proefveldje 4 en groen = proefveldje 6.....	129
Figuur 121 Nir-reflectiemap met minimumwaarde 50% reflectie om klaverdensiteit weer te geven van het grasklaver perceel met de verschillende proefveldjes omrandt: rood = proefveldje 1 (42% klaver) , geel = proefveldje 4 (36% klaver) en groen = proefveldje 6 (61% klaver).....	129
Figuur 122 Intensiteitsverdeling van NIR-reflectie gras-klaver proefveldje 1 met een schets van de twee verdelingen waarbij de rode lijn de verdeling is voor gras en de zwarte lijn de verdeling voor klaver. (rood hoge reflectie, groen lage reflectie).....	130
Figuur 123 Foto van winter tarweveld op 5 mei 2018 in Hondschoote (FR) waar de zwarte lijn het veld visueel in twee splits door het gebruik van een ander wintertarwe ras. Hierbij is links van de lijn het gewas donkergroen en rechts van de lijn lichtergroen. Terwijl op het gehele perceel dezelfde bemesting uitgevoerd werd	131
Figuur 124 Opbrengstvoorspelling (ton/ha) per pixel voor het preiveld.....	133
Figuur 125 Opbrengstvoorspelling (ton/ha) per 3 meter op 3 meter voor het preiveld.....	134
Figuur 126 Verandering in mediaan NDVI vergeleken met verhouding gras klaver	143
Figuur 127 Verandering in mediaan NDRE vergeleken met verhouding gras klaver	143
Figuur 128 Verandering in mediaan GNDVI vergeleken met verhouding gras klaver	144
Figuur 129 Verandering in mediaan GRVI vergeleken met verhouding gras klaver	144
Figuur 130 Mediaan NDVI per proefveldje per vlucht	145
Figuur 131 Mediaan NDRE per proefveldje per vlucht	145
Figuur 132 Mediaan GRVI per proefveldje per vlucht	146
Figuur 133 Mediaan GNDVI per proefveldje per vlucht.....	146

Figuur 134 Relatie tussen NDVI en NDRE met NDRE _{min} en NDRE _{max} aangeduidt om CCCI te berekenen op basis van dronevlucht 17 april 2018	162
Figuur 135 Relatie tussen CCCI en de eerste fractiebemesting op basis van dronevlucht 17 april 2018	163
Figuur 136 Ruw beeld van plot 1, hierop wordt het verschil gras klaver bepaald.....	164
Figuur 137 Resultaat na gebruik van de threshold, waar enkel gras overblijft	165
Figuur 138 Resultaat na gebruik van de threshold, waar enkel klaver overblijft	165
Figuur 139 Grafiek waar de twee verdelingen worden weergegeven voor NIR-reflectie en met groene lijn het gemiddelde tussen $\mu-\sigma$ en $\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ en $\mu+2\sigma$ van gras	166
Figuur 140 Grafiek waar de twee verdelingen worden weergegeven voor red edge reflectie en met groene lijn het gemiddelde tussen $\mu-\sigma$ en $\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ en $\mu+2\sigma$ van gras	167

Lijst van tabellen

Tabel 1 Overzicht van geleidingssystemen met bijhorende nauwkeurigheid	7
Tabel 2 Vergelijking van verschillende opties voor besturing van een tractor (Agrometius, 2017).....	9
Tabel 3 Overzicht en verschillen tussen satellieten, drones en gewassensoren (Bayer crop science Belgium, 2017).....	13
Tabel 4 Overzicht verschillen tussen Greenseeker en Yara N-sensor (Ros & Bussink, 2012) Legende: +++ staat voor veel/grote invloed/positief effect; - voor negatief/slecht/klein	14
Tabel 5 Overzicht verschillende parameters.....	37
Tabel 6 Overzicht van voor- en nadelen van geofysische sensoren	51
Tabel 7 Voorbeelden van toepassingen op de markt	69
Tabel 8 Overzicht resultaten van proefveldjes 1, 4 en 6.....	84
Tabel 9 Overzichtstabel van gewichten vers en gedroogd van gras en klaver van verschillende proefveldjes met hun verhouding	84
Tabel 10 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor NDVI	87
Tabel 11 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor NDRE.....	88
Tabel 12 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor GNDVI	89
Tabel 13 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor GRVI.....	90
Tabel 14 Overzicht van verschillende p-waardes voor de verschillende parameters met nulhypothese = geen verschil tussen de parameters voor verschillende de verschillende vluchten.....	90
Tabel 15 Overzicht van procentuele afwijking tussen vlucht 1 en vlucht 2 waarbij het gemiddelde = gemiddelde van vlucht 2 – gemiddelde van vlucht 1 en de boven- en ondergrens het 95% betrouwbaarheidsinterval zijn	91
Tabel 16 Resultaten bodemstaal en beoordeling gemaakt door BDB	94
Tabel 17 Overzicht van stikstofgehaltes op verschillende dieptes door BDB op 15 februari 2018	94
Tabel 18 Overzicht van verschillende bemestingstrappen ten over referentie.....	95
Tabel 19 Overzicht van behandelingen uitgevoerd op tarweveld	96
Tabel 20 Overzicht van resultaten voor parameter NDVI van iedere bemestingstrap.....	99
Tabel 21 Overzicht van resultaten voor parameter NDRE per bemestingstrap	100
Tabel 22 Overzicht van resultaten voor parameter GNDVI per bemestingstrap.....	101
Tabel 23 Overzicht van resultaten voor parameter GRVI per bemestingstrap.....	102
Tabel 24 Resultaat van ANOVA op basis van beelden van 19 maart met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen.....	103
Tabel 25 Resultaten van ANOVA op basis van beelden van 5 april met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen.....	103
Tabel 26 Resultaat voor NDVI 5 april van Tukey posthoc-test.....	104
Tabel 27 Resultaat voor NDRE 5 april van Tukey posthoc-test.....	104
Tabel 28 Resultaat voor GNDVI 5 april van Tukey posthoc-test	105
Tabel 29 Resultaat voor GRVI 5 april van Tukey posthoc-test	105
Tabel 30 Resultaten van ANOVA op basis van beelden 17 april 2018 met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen.....	105
Tabel 31 Resultaat voor NDVI op 17 april voor Tukey posthoc-test	106
Tabel 32 Resultaat voor NDRE op 17 april voor Tukey posthoc-test	106
Tabel 33 Resultaat voor GNDVI op 17 april voor Tukey posthoc-test	107
Tabel 34 Resultaat voor GRVI op 17 april voor Tukey posthoc-test	107

Tabel 35 Resultaten van Anova test op basis van beelden 17 mei 2018 met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen	108
Tabel 36 Resultaat voor NDVI op 17 mei voor Tukey posthoc-test	108
Tabel 37 Resultaat voor NDRE op 17 mei voor Tukey posthoc-test	108
Tabel 38 Resultaat voor GNDVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test.....	109
Tabel 39 Resultaat voor ANOVA voor CCCI met nulhypothese = geen verschil tussen de bemestingstrappen	112
Tabel 40 Resultaat van posthoc: Tukey posthoc-test voor CCCI op 17 mei 2018.....	112
Tabel 41 Resultaten van het preiveld.....	120
Tabel 42 Overzicht van de verschillende proefveldjes met overeenkomende opbrengst en NDVI ...	121
Tabel 43 Overzicht van de verschillende proefveldjes met overeenkomende opbrengst en NDRE ..	122
Tabel 44 Overzicht van de verschillende proefveldjes met overeenkomende opbrengst en GNDVI.	124
Tabel 45 Overzicht van verschillende p-waardes voor de verschillende parameters met nulhypothese = geen verschil tussen de parameters voor verschillende de verschillende vluchten	146
Tabel 46 Overzicht van alle resultaten voor NDVI van alle dronevluchten per proefveldje.....	151
Tabel 47 Overzicht van alle resultaten NDRE van alle dronevluchten per proefveldjes.....	152
Tabel 48 Overzicht van alle resultaten GNDVI van alle dronevluchten per proefveldjes	153
Tabel 49 Overzicht van alle resultaten GRVI van alle dronevluchten per proefveldjes.....	155
Tabel 50 Resultaten van Anova analyse op basis van mediaan met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen.....	157
Tabel 51 Resultaat voor NDVI op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test	158
Tabel 52 Resultaat voor NDVI op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test	158
Tabel 53 Resultaat voor NDVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test	158
Tabel 54 Resultaat voor NDRE op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test	159
Tabel 55 Resultaat voor NDRE op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test	159
Tabel 56 Resultaat voor NDRE op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test	159
Tabel 57 Resultaat voor GNDVI op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test	160
Tabel 58 Resultaat voor GNDVI op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test	160
Tabel 59 Resultaat voor GNDVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test.....	160
Tabel 60 Resultaat voor GRVI op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test	161
Tabel 61 Resultaat voor GRVI op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test	161
Tabel 62 Resultaat voor GRVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test	161
Tabel 63 Overzicht van CCCI per bemestingstrap op basis van dronevlucht 17 april 2018.....	162
Tabel 64 Waarden voor NIR-reflectie	166
Tabel 65 Opdeling van de verdeling voor NIR.....	166
Tabel 66 Berekenen van thresholds tussen de twee verdelingen voor NIR	166
Tabel 67 Waarden voor de red edge reflectie	167
Tabel 68 Opdeling van de verdeling voor red edge	167
Tabel 69 Berekenen van thresholds tussen de twee verdelingen voor red edge.....	167
Tabel 70 Resultaat na schatting met verschillende thresholds	168
Tabel 71 Resultaat van repeated measurement ANOVA.....	169

Hoofdstuk 1 - Inleiding

Op het einde van de negentiende eeuw kwam de eerste tractor op de markt. Deze had als doel het werk van de landbouwer te verlichten en betekende een grote vooruitgang in de landbouw. Het paard werd in de stal gelaten en de stoommachine deed het werk. Maar de stoommachine werd na enige tijd vervangen door een dieselmotor die het werk efficiënter en beter kon uitvoeren. De technologie stond niet stil, maar de wereldbevolking blijft steeds groeien. Hierdoor ontstond de nood aan extra voedsel, doordat het landbouwareaal op aarde min of meer constant blijft moet er efficiënter omgegaan worden met landbouwgrond. Op die manier ontstond de noodzaak voor vernieuwing en innovatie in het begin van de 21^{ste} eeuw. Zo vonden onder andere militaire toepassingen hun weg in de agrarische sector zoals geleidings- en besturingssystemen. Dit luidde een nieuw tijdperk in: precisielandbouw. Geleidelijk aan verhoogde de nauwkeurigheid en breidden de toepassingen van deze systemen verder uit. In plaats van op perceelsniveau te werken werd op gridniveau gewerkt. Een perceel wordt hierbij opgesplitst in kleine percelen waarop een aangepaste toepassing gebeurt. Meestal komt de breedte van de kleine percelen overeen met de werkbreedte van de toepassing. Zo typeert variabel bemesten en variabel bespuiten de volgende generatie van precisielandbouwtoepassingen. Maar in een grid staan nog verschillende planten en deze planten zijn niet allemaal identiek. Om de behandelingen per plant aan te passen is er nood aan een volgende generatie aan toepassingen. Zo is een nieuwe generatie, namelijk precisielandbouw 3.0, ontstaan. Een systeem dat op plantniveau tewerk gaat of zelfs tot op bladniveau. Belangrijk hierbij is dat iedere behandeling nog door de mens uitgevoerd wordt. Er wordt zelfs al gespeculeerd over een volgende generatie. Deze generatie zal bijna hetzelfde zijn als de vorige maar zonder menselijke interactie. Dit wil zeggen dat sensoren automatisch gewassen zullen screenen, een behandeling plannen en uitvoeren zonder tussenkomst van de mens en dus volledig automatisch. De evolutie naar het zo nauwkeurig mogelijk werken, heeft economische drijfveren. De landbouwer wilt zo precies mogelijk te werk gaan om zijn opbrengsten te verhogen met zo weinig mogelijk kosten. Dit alles komt echter ook het milieu ten goede door verminderd verlies aan grondstoffen.

Om behandelingen van gewassen op gridniveau te kunnen uitvoeren is het noodzakelijk om het gewas te monitoren. Dit zou met het blote oog kunnen gebeuren zoals dit momenteel in de praktijk nog gedaan wordt. Maar meestal is het net te laat wanneer de opbrengstvermindering wordt opgemerkt. Via sensortechnologie kunnen gewassen op een objectieve manier gescand worden zodat variabiliteit binnen het veld en suboptimale omstandigheden snel gedetecteerd kunnen worden. Eerst en vooral is er de offline-approach: hierbij gebeurt de detectie niet op hetzelfde moment als de plaatsspecifieke behandeling. De sensor bevindt zich hierbij vaak op ruime afstand van het gewas (*remote sensing*). Op basis van de bekomen data (gekoppeld aan GPS posities in het veld) is het aan de landbouwer om zijn behandeling te optimaliseren zodat gestuurd kan worden om een optimale opbrengst te behalen. Een al vaak toegepast voorbeeld hiervan is het variabel bemesten van percelen. Door het perceel vooraf te screenen met de hiervoor gepaste sensoren (vaak op een drone) kan het veld worden opgesplitst in kleinere stukken volgens behoefte aan bemesting (via een taakkaart). Door vervolgens een gps-gestuurde trekker met een kunstmeststofstrooier of spuitmachine die uitgerust is met een sectieafsluiting en variabele dosering het perceel te laten bewerken, kan plaatsspecifiek een aangepaste bemesting of bespuiting

uitgevoerd worden. Het uitsparen van meststoffen of gewasbeschermingsmiddelen op de plaatsen waar geen behandeling nodig is, levert voor de landbouwer een economisch voordeel.

Een tweede approach is om real-time plaatsspecifieke behandelingen uit te voeren, dit wordt ook de online approach genoemd. De machine wordt hierbij aangestuurd op basis van data die tegelijk via sensortechnologie bekomen wordt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een tractor of een veldrobot. De sensor bevindt zich hierbij relatief dicht bij het gewas (*proximal sensing*). Het niveau van autonomie kan hierbij sterk variëren. Zo worden tegenwoordig autonome robots gebruikt om onkruid te wieden of plaatsspecifiek bespuitingen uit te voeren. Wanneer de gewassen regelmatig gescand worden is het mogelijk om het groeipatroon en gezondheidstoestand van het gewas in kaart te brengen.

Precisielandbouw kent dus veel toepassingen in proximal en remote sensing applicaties. In beide gevallen moet echter een optimale afstelling gebeuren tussen de detectie en de applicatietechnologie. In deze masterproef wordt gezocht naar een sensor die gebruikt kan worden voor precisielandbouw applicaties in Vlaanderen. In de literatuurstudie worden eerst en vooral de verschillende niveaus van precisielandbouw beschreven, de plant- en bodemfactoren en verschillende sensor technologieën. In het experimenteel gedeelte van dit werk wordt de gekozen sensor toegepast voor een aantal verschillende gebruikstoepassingen (use cases). De bekomen resultaten worden hierbij vergeleken met een aantal referentiemetingen, afhankelijk van het specifiek doel van de use case.

Hoofdstuk 2 - Literatuurstudie

1 Algemeen

Precisielandbouw kent dagelijks nog nieuwe ontwikkelingen. Deze nieuwigheden zorgen voor een noodzaak aan een duidelijke structuur en plaatsing van de toepassingen. Daarom werden verschillende generaties gedefinieerd. Deze zijn chronologisch ontstaan maar verzamelen vooral alle toestellen en methodes die hetzelfde toepassingsgebied hebben. Belangrijk is dat een generatie niet los staat van een andere: een volgende generatie steunt meestal op de vorige. Tot op heden zijn er al vier generaties gedefinieerd van simpele geleidingssystemen van punt A naar B tot een automatisch systeem waar de landbouwer enkel een controlerende functie geeft. De verschillende generaties met hun toepassingen worden hierna beschreven.

2 Precisielandbouw 1.0

Voor er sprake was van precisielandbouw werden velden beschouwd als één geheel waar de variabiliteit voorkomt maar genegeerd wordt. Zo wordt op het gehele perceel aan dezelfde dosis bemest op basis van een staal genomen per perceel (veldgemiddelde basis). Dit is een eenvoudige manier die goedkoop is, weinig tijd en technologie vergt en dus typisch is voor traditionele landbouw. Hierbij wordt overlapping vaak genegeerd wat lokaal kan leiden tot een te hoge dosis van meststoffen of pesticiden wat niet zo goed is voor het milieu. Ook hebben percelen vaak een onregelmatige vorm met bochten of obstakels zoals elektriciteitspalen of bomen. Dit zorgt ervoor dat de bestuurder meer aandacht moet besteden aan het besturen van de tractor dan aan de behandeling die hij aan het uitvoeren is.

Om al deze problemen te voorkomen ontstond precisielandbouw 1.0. Hierbij wordt de positie van de trekker bepaalt om hem hiermee verder te geleiden. Deze systemen worden geleidingssystemen genoemd en hun nauwkeurigheid is afhankelijk van het satellietstelsel. Omdat het volgen van deze voorgestelde werkgangen niet altijd zo eenvoudig is, kan beroep gedaan worden op besturingssystemen. Hierbij hoeft de bestuurder niet meer zelf te sturen waardoor hij zich kan focussen op de behandeling. Aangezien de positie nu op ieder moment bepaald wordt, kan geregistreerd worden waar er al dan niet een behandeling uitgevoerd is. Hierbij wordt overlapping zo minimaal, voorbeeld: kopakkers worden uitgetekend waardoor bij het in- en uitzetten niet te veel of te weinig bewerkt wordt. Indien het werktuig een grote werkbreedte heeft en opgesplitst is in secties, zoals een spuitmachine of kunstmeststrooier, kan via een automatische sectie-afsluiting secties afzonderlijk van elkaar automatisch bediend worden.

2.1 Positioneringstechnologie

De eerste systemen die op de markt kwamen, waren ontwikkeld uit militaire en civiele toepassingen. Overall ter wereld zijn verschillende systemen beschikbaar: GPS, Galileo, GLONASS, Beidou, Compass.

GNSS

Global navigation satellite systems (GNSS) is een verzameling van verschillende satellietssystemen zoals GPS, Galileo, GLONASS, Beidou en Compass die informatie doorsturen naar ontvangers op aarde. Elk van deze systemen bestaat uit een eigen satellietnetwerk (Aerts & Mentens, 2012).

De werking van een GNSS systeem is gebaseerd op trilateratie. Iedere satelliet stuurt radio-signalen uit met gecodeerde informatie, waarin onder andere de tijd van het verzenden en de positie van de satellieten is weergegeven. Een GNSS ontvanger kan de signalen van meerdere satellieten opvangen en aan de hand van het tijdsverschil tussen het verzenden en ontvangen van het radiosignaal wordt de positie berekend. In een tweedimensionaal geval zijn hiervoor minstens drie satellieten nodig zoals aangegeven op Figuur 1. In de driedimensionale wereld is een vierde satelliet noodzakelijk. In de praktijk heeft een ontvanger vaak contact met meer dan vier satellieten. Hoe meer satellieten, hoe preciezer de locatie bepaald kan worden.



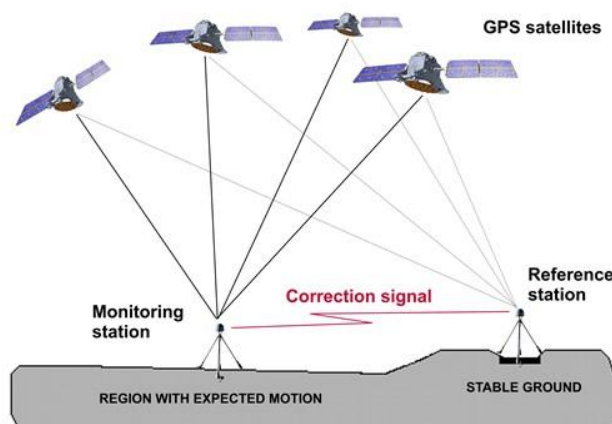
Figuur 1 Schematische weergave van trilateratie van drie satellieten

Maar dit systeem kent wel nog een nadeel: onnauwkeurigheid kan veroorzaakt worden door de plaatselijke troposfeer (Penna et al, 2001), maar ook door storende factoren van de omgeving, zoals bijvoorbeeld multipath (weerkaatsing op gebouwen en bomen) (Groves, 2013).

Om de nauwkeurigheid te verhogen zijn verschillende correctiesystemen ontwikkeld, o.a. European geo-stationary navigation overlay system (EGNOS), differential global positioning system (DGPS) en real time kinetic (RTK). De nauwkeurigheid en kostprijs van deze systemen varieert sterk. Hier is het belangrijk dat de gebruiker het systeem kiest in functie van de behandeling die hij ermee wilt uitvoeren. Zo is de noodzaak om op enkele centimeters nauwkeurig te werken kleiner bij werktuigen met grote werkbreedte (bvb. een centrifugaalstrooier versus precisiezaaimachine).

DGPS

DGPS of Differentiaal GPS maakt gebruik van correcties om de nauwkeurigheid van GNSS systemen te verhogen. Hierbij wordt een vaste positie op aarde gebruikt om de accuraatheid te verhogen. Wanneer een ontvanger een signaal ontvangt van een satelliet wordt de theoretische positie bepaald. Maar wanneer men gebruik kan maken van een vast station, dat zich op een bepaalde afstand van de satelliet bevindt, kan men de afwijking die ontstaat doordat het signaal de troposfeer en de ionosfeer kruist of door dilutie en signaal interferentie, bepalen en dus de nauwkeurigheid verhogen.



Figuur 2 Opbouw van een DGPS systeem (Lagios et al., 2007)

EGNOS

EGNOS is Europees systeem zoals DGPS waar ook gebruik gemaakt wordt van vaste stations op aarde. Maar deze stations zijn verder van elkaar verwijderd waardoor ze voor een groter gebied moeten zorgen. Ook wordt gebruik gemaakt van geostationaire satellieten: dit zijn satellieten die meedraaien met de aarde zodat ze altijd boven dezelfde plaats op aarde hangen, om de fouten die zorgen voor onnauwkeurigheid te bepalen.

Naast Europa hebben Noord-Amerika (WAAS), het oosten van Azië (MSAS) en India (GAGAN) een gelijkaardig systeem. De signalen moeten hierdoor een langere weg afleggen waardoor de nauwkeurigheid afneemt. Maar dit systeem heeft een verbeterde accuraatheid in vergelijking met GNSS en wordt gebruikt voor alle soorten van transport van goederen en personen (Aerts & Mentens, 2012).

Real Time Kinetic

RTK of Real Time Kinetic GPS geeft de gebruiker de hoogste nauwkeurigheid. Hierbij worden specifieke ontvangers gebruikt waarbij de fase van het drager signaal (meestal L1) in rekening wordt gebracht. Een radiosignaal heeft een grote golflengte, voorbeeld 20 cm. Wanneer een golf ontvangen

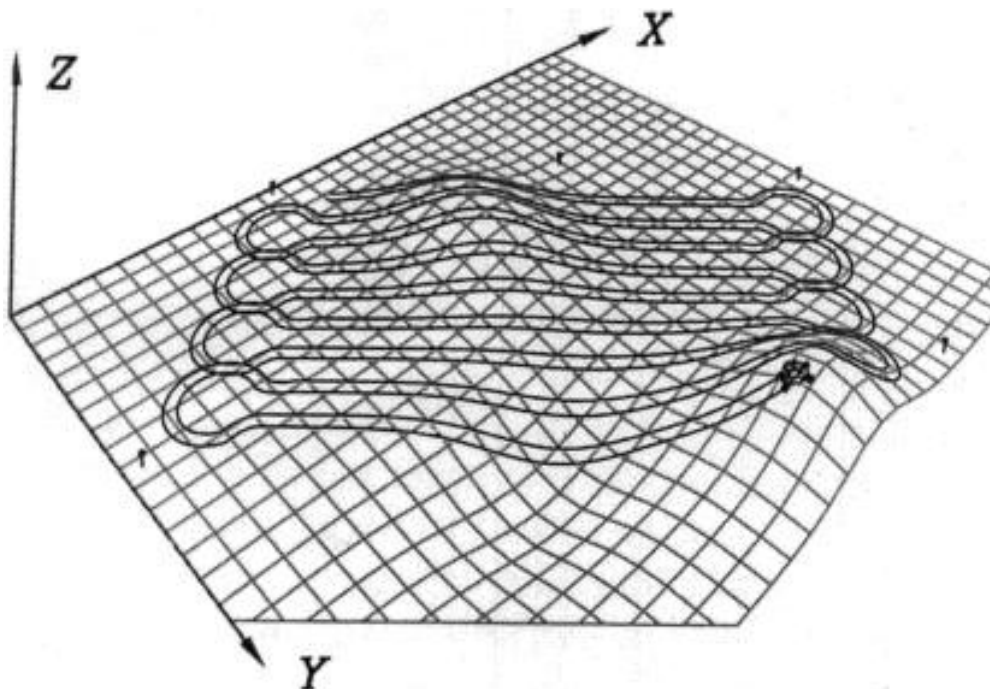
wordt door de ontvanger kan bepaald worden in welke fase de golf zit. Door dit voor meerdere golven te bepalen kan de exacte locatie bepaald worden (De Vidts et al, 2014).

Net als bij DGPS en EGNOS worden referentiestation(s) gebruikt voor correctie. Dit kunnen vaste of virtuele referentiestations zijn. In Vlaanderen kan de gratis correctieservice FLEPOS gebruikt worden. Flemish Positioning Service (FLEPOS). Maar in tegenstelling tot een DGPS, waar het vast station dicht bij de tractor moet geplaatst zijn, laat RTK een grotere afstand tot 10 km toe. Dit komt omdat RTK gebruik maakt van een netwerk van vaste punten op aarde die verbonden zijn met satellieten zoals GSM-masten.

Laser optical navigation system

LONS is een geleidingssysteem dat geen gebruik maakt van satellieten. Aan de zijkant van de akker wordt een ronddraaiende schijf gemonteerd die een laserstraal uitstuurt in alle richtingen die veilig is voor de mens. Deze straal wordt vervolgens gereflecteerd op reflectiepanelen die langs de grenzen van het perceel geïnstalleerd zijn. De trekker die de behandeling uitvoert, wordt vervolgens uitgerust met een lasersensor die de verschillende laserstralen opvangt. Een computersysteem bepaalt vervolgens de positie van de trekker volgens de horizontale en verticale as aan de hand van deze stralen met behulp van de brekingshoeken (Keicher & Seufert, 2000).

Wanneer een trekker aan een snelheid van 2m/s rijdt en zich gemiddeld 50m van een reflector bevindt kan er zich een afwijking voordoen van 5 cm in de X, Y en Z richting (Holmqvist, 1993). Hierdoor is dit systeem nooit doorgebroken op de markt.



Figuur 3 3D positie van trekker bepaald met behulp van Laser optical navigation system (Holmqvist, 1993)

Nauwkeurigheid van verschillende sturingssystemen

De nauwkeurigheid van de behandeling is afhankelijk van het gekozen geleidingssysteem. In Tabel 1 worden de systemen met hun nauwkeurigheid opgesomd.

Tabel 1 Overzicht van geleidingssystemen met bijhorende nauwkeurigheid

Geleidingssysteem	Nauwkeurigheid (cm)
GPS	100-200
EGNOS	10-30
DGPS	0-30
LONS	0-5
RTK	0-2

2.2 Toepassingen binnen precisielandbouw

Er zijn vele toepassingen van precisielandbouw 1.0. In de meeste gevallen is een geleidingssysteem gekoppeld aan een elektro-hydraulisch stuursysteem. De nauwkeurigheid van het gekozen systeem is vaak afhankelijk van het werk die de trekker moet leveren. Bij zaaien heeft men een voorkeur voor een hoge nauwkeurigheid, bij een stoppelbewerking is een overlapping van 15 cm toegelaten. Maar ook het tijdstip van de behandeling is van groot belang. Hierna worden de verschillende sturingssystemen beschreven, gevolgd door controlled traffic farming. Vervolgens beschrijven we het sectiestrooien, sectiespuiten en zaaimachines.

2.2.1 Sturingssystemen

Sturingssystemen hebben als doel om de trekker in perfecte banen die vooraf bepaald werden te rijden. Zo kan de trekker een rechte AB-lijn volgen, maar ook een pivot, aanpassende bochten, vrije vormen, enz. volgen. Hierdoor wordt overlapping minimaal en dus duurzamer te werk gegaan. Ook hoeft de bestuurder zich niet meer te focussen op waar hij moet rijden en kan hij de toepassing beter uitvoeren.

Er bestaan vele merken geleidingssystemen, waarvan Trimble er één is. Trimble heeft een heel uitgebreid gamma. Zo kan de gebruiker kiezen uit een simpele display met simpele werking zoals een lichtbalk (Figuur 4) tot een soort tablet waar verschillende mogelijkheden van besturing aangesloten kunnen worden. De tractorbesturing kan bij de meeste systemen gekoppeld worden en hierin bestaan er nog verschillende mogelijkheden zoals bijvoorbeeld de EZ-steer, EZ-pilot en Autopilot van Trimble. De EZ-steer (Figuur 5), is de meest eenvoudige en werkt met een motortje met behulp van een wielletje die het stuur doet ronddraaien. Een complexer systeem is de EZ-pilot (Figuur 6). Deze bestaat uit een stuurmotor die net onder het stuur gemonteerd wordt. Hierdoor kan er geen slip optreden, wat wel mogelijk was bij EZ-steer. Beide systemen werken enkel bij het vooruit rijden van de trekker. Wanneer de trekker achteruit rijdt, zal de bestuurder zelf moeten sturen. Wanneer men

dit ook automatisch wenst te doen en een hogere nauwkeurigheid wil, kan men kiezen voor de Autopilot. Dit is een hydraulisch stuursysteem dat ingebouwd wordt op het elektro-hydraulisch systeem van de trekker. Ook zit hier een drie-assige gyroscoop (x, y en z) ingebouwd die corrigeert bij het slingeren (rotatie om de dwarsas), hellen (rotatie om de horizontale as) of gieren (rotatie om de verticale as) van de trekker. Deze afwijking ontstaat omdat de antenne zich vanboven op de trekker bevindt en dus zich kan verplaatsen volgens zijn grondpositie (Agrometius, 2017).



Figuur 4 Voorbeeld van een eenvoudige display met bovenaan een lichtbalk (Agrometius, 2017)



Figuur 5 EZ-steer (Agrometius, 2017)



Figuur 6 EZ-pilot (Agrometius, 2017)

De nauwkeurigheid van de behandeling is afhankelijk van het gekozen besturingssysteem. In Tabel 2 worden de systemen met hun respectievelijke nauwkeurigheid opgesomd.

Tabel 2 Vergelijking van verschillende opties voor besturing van een tractor (Agrometius, 2017)

	EZ-steer	EZ-pilot	Autopilot
Hulpsturing met elektromotor	ja	ja	nee
Hydraulische besturing	nee	nee	ja
Nauwkeurigheid met RTK-GPS	0-5cm	0-3cm	0-2cm
Werkt zowel voor- als achteruit	nee	nee	ja
Aantal sensoren voor hellingcorrectie	2	3	4

Naast een antenne wordt in de trekker nog een scherm geïnstalleerd, dit is de interface met de gebruiker. Via de interface kan de gebruiker zijn machine op ieder moment bijsturen en controleren. Daarnaast wordt de geleiding weergegeven op het scherm samen met andere gegevens zoals de snelheid, enz. Dit scherm kan vervolgens gekoppeld worden aan andere systemen zoals een spuitcomputer, isobus, e.a.



Figuur 7 Trimble TMX 2050 is een precisielandbouw scherm dat werkt op Android en is bedienbaar als een tablet (Agrometius, 2017).

Verder kan men het stuursysteem uitrusten tot een GeoPlough ploegbesturing. Wanneer de landbouwer ploegt met een vario-ploeg zorgt GeoPlough ervoor dat de bestuurder recht ploegt door de variocilinder aan te sturen. Ofwel kan de bestuurder kiezen voor een TrueTracker werktuigbesturing. Hierbij wordt de RTK-ontvanger en gyroscopen op het werktuig geïnstalleerd en zo wordt het werktuig altijd in een rechte lijn getrokken (Agrometius, 2017).

Bij werktuigen met een grote werkbreedte zoals spuittoestellen of kunstmeststrooiers, wordt vaak gebruik gemaakt van secties. Om deze sectie op het juiste tijdstip aan of af te sluiten, wordt gebruik gemaakt van besturingssystemen. Dit zorgt ervoor dat de overlapping op percelen veel kleiner wordt en groene zones niet bespoten worden, wat heel wat positieve gevolgen heeft voor landbouwer en milieu (Loghavi & Behzadi Mackvandi, 2008).

Het gekozen sturingssysteem zal een specifiek pad volgen. Dit pad is afhankelijk van de werkbreedte van de machine en de gekozen overlapping. Hierdoor wordt een teveel aan overlap vermeden waardoor verspilling van producten zoals zaaizaad, kunstmest, GBM vermeden wordt. Verder worden ook zones zonder toepassing vermeden. Maar soms kunnen werktuigen afwijken van het pad van de trekker door het nemen van bochten of doordat ze ver achter de trekker gemonteerd zijn. Daarom bestaat er ook een mogelijkheid om een GNSS ontvanger op het werktuig te monteren zodat deze altijd het correcte pad volgt. Andere voordelen van dit systeem is het vermijden van onnauwkeurigheden door vermoeidheid van de bestuurder en tijdwinst door op een efficiënte manier het veld te bewerken.

2.2.2 Telematica

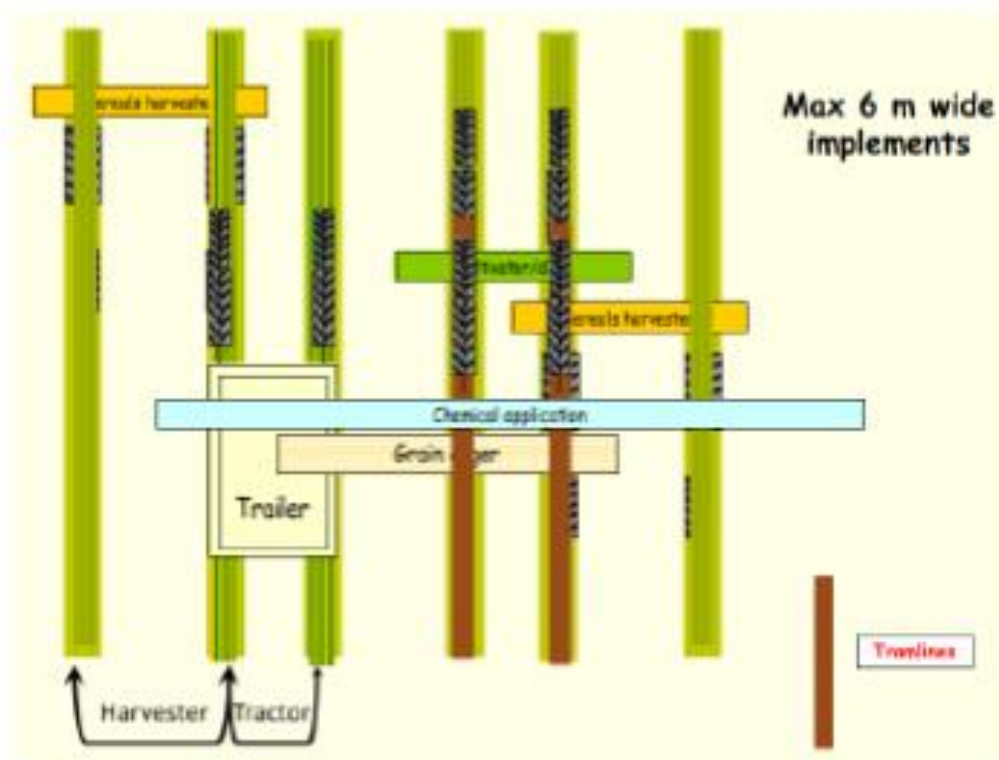
Telematica is een verzamelnaam voor de synchronisatie van data tussen veld en kantoor om het werk efficiënter, effectiever en makkelijker te maken. Dit houdt in dat ieder toestel uitgerust met precisielandbouwtechnologie, meestal geleidings- en besturingssystemen, de activiteit van het toestel en data omtrent de uitgevoerde taak, zoals welke behandeling en door wie de behandeling wordt uitgevoerd, vastlegt. Zo is het mogelijk om werkgangen op te slaan bij grondbewerkingen, bij zaaien en planten rassenkaarten op te stellen met exacte oppervlaktes, taakkaarten op te stellen

voor toepassingen in de toekomst en oogstmetingen uit te voeren alsook deze door te sturen naar een computer, via een USB-stick of bluetooth, of een server die bereikbaar is via de computer van de landbouwer (via mobiel netwerk). Verder is het ook mogelijk bij het bespuiten of bemesten de gebruikte producten en dosering op te slaan. Hierdoor kan de landbouwer op zijn kantoor altijd de uitgevoerde behandelingen controleren en toekomstige behandelingen plannen vanuit zijn kantoor. Bij correcte invoering van alle behandelingen kan achteraf een gedetailleerde teeltfiche gegenereerd worden zodanig dat de landbouwer dit niet telkens moet neerschrijven.

2.2.3 Controlled traffic farming (CTF)

CTF is een systeem waar bij iedere toepassing de machine op de zelfde rijpaden blijft. Hierdoor wordt bodemcompactie voorkomen tussen de rijpaden. Om dit te kunnen moeten alle voertuigen op dezelfde spoorbreedte rijden met dezelfde wielen en uitgerust zijn met een RTK-systeem zodat er nooit afgeweken wordt van de rijpaden. Omwille van deze eisen is dit systeem nogal duur.

Figuur 8 toont schematisch een voorbeeld van CTF. Hierbij wordt met een veelvoud van een bepaalde standaardwerkbreedte gewerkt voor de werkbreedtes van de machines. Een tarweperceel met rijpaden voorgesteld door lange groene lijnen wordt bewerkt en gezaaid voorgesteld als korte groene lijn waar de tractor met zijn wielen op de rijpaden blijft. Vervolgens wordt het veld bespoten voorgesteld door licht blauwe lijn. Hierbij rijdt de spuitmachine op één bepaald rijpad en behandelt die meerdere rijpaden. Bij oogst rijdt een maaidorser voorgesteld als gele lijn op rijpaden en wordt de graan buis (grijze balk) aangepast zodat een tractor met trailer op een ander rijpad kan rijden.



Figuur 8 Voorbeeld van CTF toepassing

3 Precisielandbouw 2.0

In plaats van op veld-niveau te werken kan ook rekening gehouden worden met variabiliteit binnenin het veld. Hierbij wordt op grid-niveau gewerkt. Dit wil zeggen dat het perceel opgesplitst wordt in kleinere stukken die individueel behandeld worden. Zo kan men gericht te werk gaan en verder kosten besparen.

Hiervoor is er nood aan sensoren die de gewas- of bodemtoestand waarnemen. Zo kan men bijvoorbeeld de bemesting aanpassen aan de gewasstand, maar ook de zaaidichtheid veranderen in functie van de bodem.

Het doel van precisielandbouw 2.0 is de duurzaamheid van de landbouw te verbeteren. Dit kan door in te spelen op de drie pilaren van duurzaamheid: economie, ecologie en sociaal. Met andere woorden wil men zoveel mogelijk produceren met zo weinig mogelijk middelen op een manier die aanvaard wordt door de maatschappij en met een zo laag mogelijke druk op het milieu. Maar om dit te kunnen, dient de landbouwer voldoende kennis te bezitten over zijn gewassen en gewasparameters. Gewasparameters kunnen op verschillende manieren gemeten worden. Deze parameters en technologie worden beschreven in de sectie Sensing technologie. Aan de hand van de gemeten waarden kan ook een bepaalde toepassing of handeling gelinkt worden. Dit wordt beschreven in sectie Reacting Technologies. De verschillende kaarten verkregen van de sensing technologie worden hier toegepast om plaatsspecifieke behandeling toe te passen.

Er zijn talloze verschillende sensoren op de markt en deze kunnen op verschillende toestellen gemonteerd worden. Deze kunnen allemaal ingedeeld worden in drie grote groepen met elk specifieke eigenschappen. Deze groepen zijn satellieten, drones (rotary of fixed wing) die gecategoriseerd kunnen worden onder remote sensing. Daarnaast is er ook proximal sensing, waarbij de sensoren zich relatief dicht bij het gewas bevinden, oa. door ze op te hangen aan werktuigen, tractoren of robotplatformen. Tabel 3 geeft een overzicht met hun voor- en nadelen. Wanneer we de verschillen bestuderen, komen we tot de conclusie dat elke categorie zijn voor- en nadelen heeft en men dus nog nood heeft aan aanvullende informatie of combinatie van verschillende systemen.

Tabel 3 Overzicht en verschillen tussen satellieten, drones en gewassensoren (Bayer crop science Belgium, 2017)



Investering	Gratis of dienst/ha	Kopen of dienst/ha	Kopen
Wanneer meten	Wekelijks	Zelf kiezen	Tijdens bewerking
Beschikbaarheid	Niet wanneer bewolkt	Tijdens goed weer	Altijd
Proximaal of remote sensing	Remote	Remote	Proximaal
Verstoring	Nee	Nee	Ja
Vergunning vereist	Nee	Ja	Nee
Dataverwerking	Achteraf; automatisch	Achteraf; intensief	Real-time; geïntegreerd
Bedekking	Volledige 10m resolutie	Volledige 2cm resolutie	Volledig of in stroken afhankelijk van het werktuig
Soort informatie	Standaard NDVI	Flexibel, gedetailleerd	Beperkt

Wanneer men verschillende merken onderling vergelijkt, (in Tabel 4 wordt een voorbeeld gegeven van twee verschillende gewassensoren voor stikstof), kan er opgemerkt worden dat er onderling niet zoveel verschillen zijn. Deze komen vaak neer op meer of minder precisie, groter of kleiner scanoppervlak en toepassingsgebied. Dit leert ons dat de gebruiker zijn eigen optimale systeem kan kiezen en vooral een keuze moet maken op welke manier hij gebruik wilt maken van sensing technologie, via satelliet of gemonteerd op een drone of tractor of werktuig. De volgende keuze tussen verschillende merken van sensoren is van minder belang. Hierbij kan men de sensor kiezen die het best past met de huidige technologie op het bedrijf en naar zijn eigen wensen.

Tabel 4 Overzicht verschillen tussen Greenseeker en Yara N-sensor (Ros & Bussink, 2012)
 Legende: +++ staat voor veel/grote invloed/positief effect; - voor negatief/slecht/klein

	Greenseeker	Yara N-sensor
Scanoppervlak	+	++
Weersafhankelijkheid	-	-
Afhankelijk van derden	-	-
Frequentie gebruik	+++	+++
Informatiedichtheid spectrum	+	++
Beschikbaarheid N-advies	+	+
Toepassing/Doel	Meting chlorofyl	Meting chlorofyl
Diverse gewassen	++	++
Diverse bodemsoorten	++	++

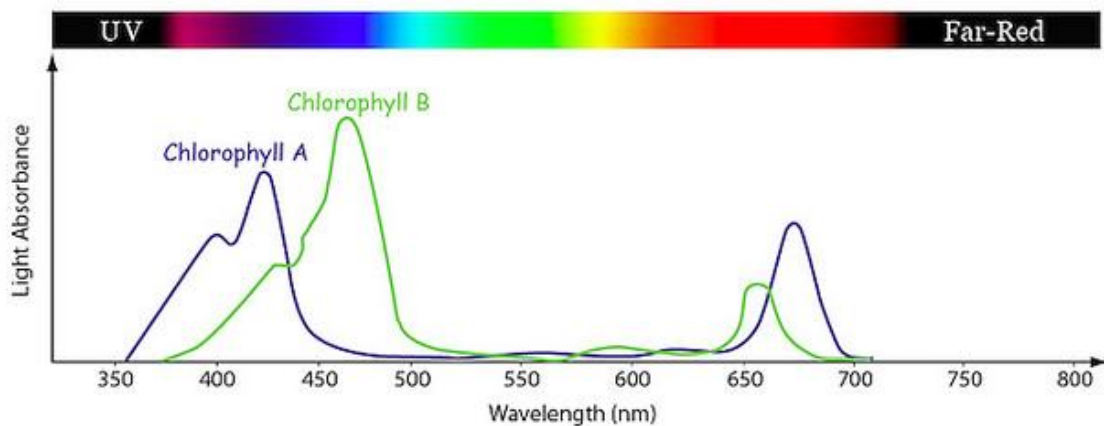
3.1 Sensing technologie

3.1.1 Gewas: monitoren van gewasparameters

3.1.1.1 *Achtergrondinformatie en theoretische begrippen*

Fotosynthese en leaf area index

Fotosynthese is het belangrijkste proces dat plaats vindt in groene planten en is mogelijk door chlorofyl. Chlorofyl zorgt ervoor dat zonlicht opgenomen wordt en omgezet tot energie. Dit is mogelijk doordat het chlorofylmolecule bestaat uit een porfine-ring met daaraan gehecht een lange, lipofiele koolwaterstofketen van 20 koolstofatomen (=fytolstaart) (Haesaert, 2017). Maar ook hier bestaan er verschillende soorten: chlorofyl a en b. Het verschil tussen beide is te wijten aan de koolstofgroep die aan het centrale molecule hangt. Beide komen voor in planten in een ideale verhouding. Chlorofyl a is het primair fotosynthetisch pigment en dus ook het meest verspreide. Dit absorbeert licht met een piek bij 680nm. De biologische pathways met chlorofyl a zijn ook veel efficiënter dan met chlorofyl b. Chlorofyl b is eerder een accessoire pigment met een piek bij 430nm. Zo absorbeert chlorofyl b licht uit het groene gebied en geeft deze energie door aan chlorofyl a. Dit proces zorgt ervoor dat het beschikbare gebied voor fotosynthese uitgebreid wordt. Wanneer er dus weinig licht aanwezig is, maakt de plant chlorofyl b aan, waardoor deze het weinige licht beter kan benutten, omdat het absorptiegebied uitgebreid is (Faries et al, 2015).

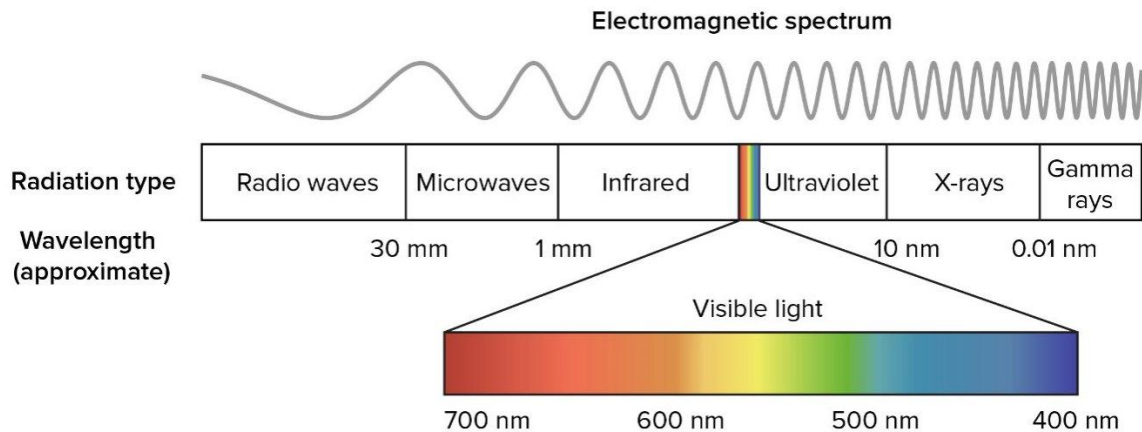


Figuur 9 Verschil in absorptiespectrum tussen chlorofyl a en b

Leaf area index of kortweg LAI is gedefinieerd als de horizontale oppervlakte van de plant ten opzichte van grondoppervlakte. Zo heeft een gewas met een bladoppervlakte van 0,80 m² per m² grondoppervlak een LAI van 0,80. Maar de LAI kan ook groter dan 1 zijn. Als de LAI = 3, wil dit zeggen dat er per vierkante meter grondoppervlakte drie vierkante meter bladeren zijn. Dit is het resultaat van verschillende bladlagen. De LAI kan experimenteel berekend worden door manueel de bladoppervlakten op te meten. Leaf area index is dus belangrijk om de bodembedekking te bepalen. Hoe groter de index, hoe meer bladeren aan de plant groeien en dus hoe meer er aan fotosynthese gedaan kan worden.

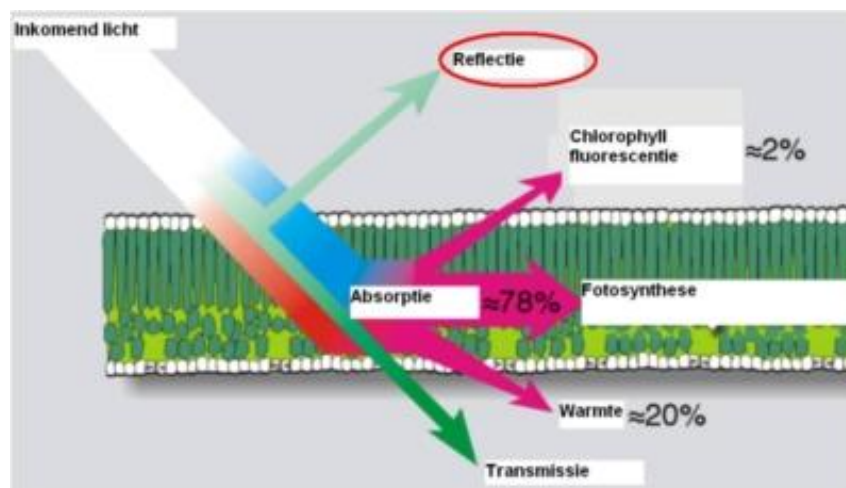
Reflectie

Licht is een verzameling van elektromagnetische straling met verschillende golflengten en amplitudes. De specifieke golflengte en amplitude van een lichtstraal is afhankelijk van het materiaal dat deze uitstuurt of reflecteert en kunnen we weergeven in een elektromagnetisch spectrum zoals Figuur 10. Zichtbaar licht of VIS bestaat uit drie hoofdkleuren: rood, groen en blauw waarmee verschillende schakeringen gemaakt worden. Deze kleuren zijn met het blote oog zichtbaar en nemen we iedere dag waar. Hun gebied ligt tussen 380 nm en 750 nm en ligt tussen de infraroodstralen of IR en ultraviolet licht of UV. Planten nemen vooral het rood en blauw licht op en weerkaatsen het groene licht. Nabije infraroodstralen of NIR zijn stralingen met een langere golflengte dan VIS. Deze zijn niet zichtbaar met het menselijk oog maar wel te detecteren met speciale NIR-camera's.



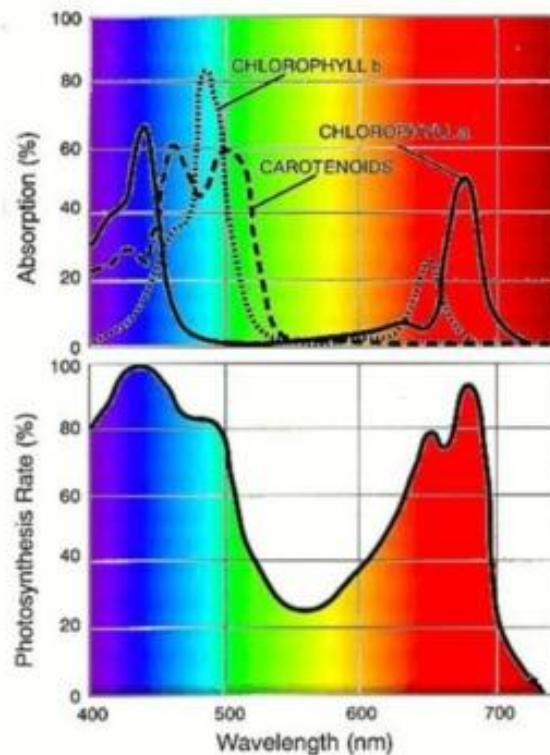
Figuur 10 Elektromagnetisch spectrum van licht

Wanneer het licht invalt op planten zijn er drie opties: een deel van het lichtenergie wordt opgenomen door de plant of geabsorbeerd, een deel wordt doorgelaten via transmissie en een deel wordt weerkaatst of gereflecteerd. De mate waarin deze drie opties voorkomen is afhankelijk van de golflengte van het licht en de som is gelijk aan 100%.



Figuur 11 Overzicht van reflectie, absorptie en transmissie in een blad (Schans et al, 2011)

Wanneer we reflectie van planten bestuderen valt ons op dat vooral zichtbaar licht met golflengte 400-500nm en 600-700nm opgenomen wordt. Deze twee gebieden van het spectrum komen overeen met het rood en blauw licht. Dit komt omdat groene bladmassa alle kleuren absorbeert behalve groen waardoor een blad groen kleurt (het groene licht reflecteert naar onze ogen toe). Maar niet alle golflengtes worden geabsorbeerd door de bladmassa. Samen met golflengtes van het groen spectrum en niet zichtbaar licht reflecteren deze op het bladoppervlak. Want iedere molecule heeft een bepaald spectrum en dus een bepaalde reflectiepatroon. Zo heeft chlorofyl a en b een ander spectrum. Door de twee verschillende reflectiespectra te vergelijken met het totaal aan gereflecteerde lichtstralen kan men de aanwezigheid en hoeveelheid van chlorofyl a of b bekomen. Wat op zijn beurt ons meer leert over de toestand van het blad. Wanneer men deze reflectie zou bestuderen kan men meer informatie bekomen over de samenstelling van het blad (Reder, 2016).



Figuur 12 Licht absorptie bij planten binnen het zichtbaar licht (Reder, 2016)

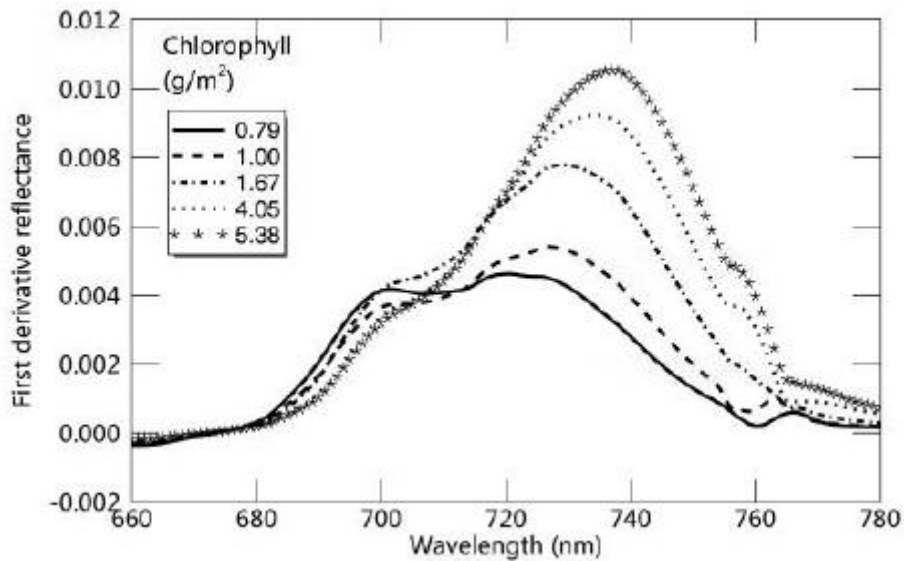
De reflectie van het blad is ook afhankelijk van het tijdstip dat de meting gebeurt. Gedurende de dag kan het blad andere posities aannemen en verandert de samenstelling van het blad door zijn biologische activiteit. Maar de lichtinval verandert ook van samenstelling, hoek en intensiteit (Chen et al, 2004; Sellers, 1985).

- **Detectie van zichtbaar licht (VIS)**

Wanneer de plant zich in een stresssituatie bevindt, zal de fotosynthese-intensiteit verminderen, wat leidt tot een verminderde absorptie van rood en blauw licht en dus meer weerkaatsing, maar vooral tot een grotere absorptie en dus minder reflectie van groen licht. Ook zullen door stresshormonen pigmenten vrijkomen die enkel een specifiek absorptiespectrum hebben. Dit zal leiden tot een verandering in het absorptie- en reflectiespectrum, wat kan helpen om een abnormale situatie te detecteren (Diago et al, 2012; Kim et al, 2012).

- **Detectie van red edge (RE)**

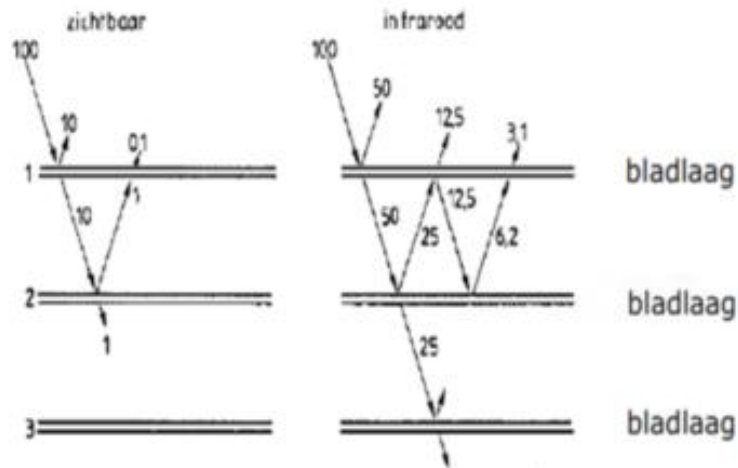
Red edge is een deel van de rode band die men niet meer met het blote oog kan zien. Deze bevindt zich tussen het zichtbaar licht en nabije infrarood tussen 680nm en 750nm. Naast de groene band wordt ook deze band in grote mate gereflecteerd door de plant. Dit heeft echter geen invloed op de kleur van planten omdat deze banden niet zichtbaar zijn. Maar zoals bij het zichtbaar licht zal bij een abnormale situatie hier ook een andere absorptiewaarde te vinden zijn dan bij een gezonde plant (Filella & Penuelas, 1994).



Figuur 13 Weergave van vijf gewassen met verschillende LAI volgens reflectie in het red edge gebied (Cheng et al, 2015)

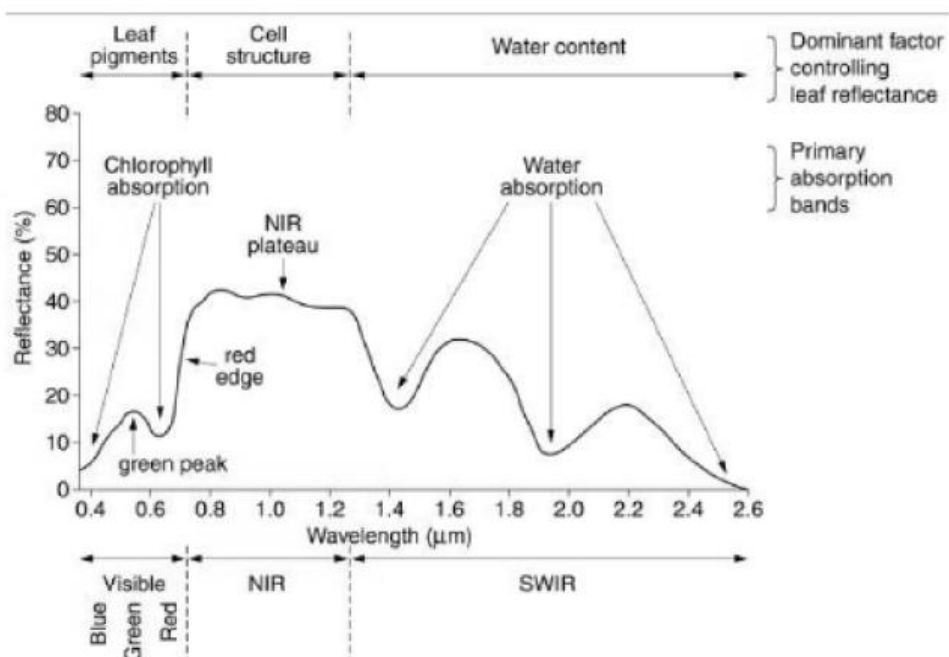
- **Detectie van nabije infrarood (NIR)**

Nabije infrarood (NIR) is niet zichtbaar voor het blote oog, maar het kan ons wel veel leren over de toestand van de plant. In een normale situatie absorbeert de plant geen NIR licht. Maar de samenstelling van het blad en het bladerdek kan wel een invloed hebben op het weerkaatste licht. Wanneer licht invalt op een blad, wordt het weerkaatst in alle richtingen. Zo weerkaatst er een deel van het licht terug naar de sensor en een ander deel wordt via transmissie door gelaten naar de volgende bladlaag. Bij deze bladlaag gebeurt hetzelfde maar de intensiteit van de lichtstraal is afgenomen. Door de totale intensiteit van de NIR-lichtstralen die teruggekaatst worden te berekenen en dit te vergelijken met de totale intensiteit van het NIR-licht kan de LAI berekend worden. Maar bij iedere bladlaag neemt de totale intensiteit af waardoor de weerkaatste intensiteit van de lichtstralen miniem wordt bij een hoge LAI. Hierdoor kunnen de gegevens over de onderste bladlagen niet meer correct zijn (Peñuelas & Filella, 1998). Het gehele principe wordt schematisch weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14 Schematische voorstelling van reflectie en transmissie van zichtbare en NIR licht door drie bladlagen (Reder, 2016)

NIR licht kan omgezet worden naar bewegingsenergie van aanwezige O-H, C-H en N-H bindingen. Hierdoor kan de binding aangepast worden en energie opnemen. Het licht uit dit deel van het spectrum wordt door de plant maximaal met 50 % gereflecteerd en veroorzaakt een lichtverstrooiing in het blad of scattering. Deze scattering is afkomstig door aanwezige celstructuren in de bladeren. Plantencellen bestaan grotendeels uit water. Water heeft het vermogen om licht met langere golflengte te absorberen. Dit leidt tot het typische beeld in Figuur 15: hoe meer water in de cellen, hoe meer water de plant opgenomen heeft, hoe groter de absorptie van licht met deze specifieke golflengtes. In Figuur 15 wordt een onderscheid gemaakt tussen NIR en short wave infra red, maar beide behoren tot het NIR gebied van het spectrum. Verder kan ook het spectrum opgedeeld worden in verschillende hoofdbestanddelen van het blad. Onderzoek in specifiek deze zones van het spectrum vertellen ons meer over de hoofdcomponent hiermee gelinkt (Ros & Bussink, 2012).



Figuur 15 Gewasreflectie van licht in relatie tot golflengte (Ros & Bussink, 2012)

- **Verschillen tussen gewassen in elektromagnetisch spectrum**

Ieder gewas geeft een specifieke samenstelling die gemakkelijk varieert door fysiologische toestand. Door deze samenstelling kan er een spectrum bekomen worden die eigen is aan de aanwezig componenten. Wanneer deze samenstelling zodanig verschilt dat er een kleurverandering optreedt kan dit gedetecteerd worden met behulp van camera's. Maar dit is enkel mogelijk indien het verschil in spectrum voldoende groot is. Een voorbeeld hiervan is duist in wintertarwe. Tijdens de groeiperiode zal wintertarwe en duist groeien en fotosynthetisch actief zijn en zal het verschil tussen beide minimaal zijn en waarschijnlijk niet detecteerbaar. Maar wanneer de wintertarwe afrijpt en dus veranderd van kleur zal het verschil met duist groter worden en detecteerbaar zijn.

Temperatuur en water in de plant

De temperatuur van een plant is een belangrijke indicator voor stress. Wanneer de temperatuur van een plant drastisch hoger is van de andere planten in het veld wijst dit op vocht tekort. Water warmt niet vlug op of koelt niet rap af waardoor deze ervoor zorgt dat een plant een constante temperatuur kan behouden. Dit water vindt men vooral terug in het vaatbundelsysteem, maar ook in de stomata van de cellen. Het water in de stomata zorgt ervoor dat de juiste turgor-druk behouden blijft. Wanneer deze druk te laag wordt, zal de plant verwelken en omgekeerd zullen bij een te hoge druk de cellen openbarsten. Het water in het vaatbundelsysteem heeft als doel voedingsstoffen te transporteren. Zo wordt door principe van diffusie voedingsstoffen opgenomen en via de xylemvaten naar cellen getransporteerd. Wanneer zonlicht op de plant schijnt, warmt de plant op. Maar door het waterhuishoudingssysteem van de plant wordt de opwarming beperkt. Maar net wanneer de plant onvoldoende water ter beschikking heeft, zal de plant te veel opwarmen. Dit kan leiden tot droogtestress. De plant zal zijn huidmondjes sluiten en extra energie steken in het vormen van nieuwe diepere wortels. Dit leidt naar een verminderde fotosynthese en dus een verminderde opbrengst (Gardner et al, 1981).

Gezondheidstoestand en onkruid

Een plant bestaat uit verschillende componenten zoals hormonen, eiwitten,... met elk verschillende samenstelling in een bepaald evenwicht. Wanneer een plant ziek wordt, wordt dit evenwicht verstoord. Dit kan enerzijds door een infectie en anderzijds door een tekort van een bepaald element in de bodem, zo zullen bij een te kort aan stikstof de bladeren geel kleuren. De plant probeert vervolgens om het evenwicht te herstellen via verschillende processen. Dit gebeurt vaak met aanmaak van plantenhormonen. Zo wordt bij droogtestress abscisinezuur aangemaakt hetgeen de verticale wortelgroei bevordert. Dit zorgt ervoor dat de plant dieper op zoek gaat naar water. Maar dit hormoon benadeelt de lengtegroei van de plant bovengronds. Naast hoogteverschillen kunnen ook pigmenten zoals xanthofylen en carotenen gevormd worden. Dit betekent dat de plant een andere kleur krijgt zoals bij de afrijping (Haesaert, 2017).

Wanneer er tussen het gewas onkruiden groeien, staat het gewas in directe concurrentie met dit onkruid. Het onkruid neemt niet enkel de nodige nutriënten uit de bodem op waardoor deze niet meer beschikbaar zijn voor het gewas, maar zorgt ook voor schaduwvorming wanneer deze boven het gewas uitkomt. Sommige soorten onkruid zoals akkerwinde overwoekeren het gewas. Naast de

concurrentie die onkruid uitvoert, kan het onkruid een waardplant zijn voor verschillende plantvijanden en ziektes (De Cauwer, 2015).

3.1.2 Sensoren

3.1.2.1 Red Green Blue camera (RGB) camera

Een RGB camera is een standaard digitale kleur-camera, zie Figuur 16. Wanneer men een foto neemt met de camera komen de lichtstralen via een lens op een beeldsensor. De beeldsensor bestaat uit kleinere deeltjes (pixels) die elk waarden opmeten voor de ingevallen lichtstraal. Zo ontstaat er een beeld dat op te splitsen is in verschillende zeer kleine pixels. Bij een RGB camera weten we per pixel de intensiteit aan rood, groen en blauw licht, welke uitgedrukt worden in waarden tussen 0 en 255 (bij een 8 bit camera). Aan de hand van deze drie waarden die per pixel bepaald worden, maakt een computer nadat alle pixels samengebracht zijn een digitale foto van het geheel. Aangezien er per pixel drie getallen terug te vinden zijn, is het ook mogelijk om met deze waarden plant indices te berekenen. De meeste toepassingen in de landbouw van RGB camera's is het herkennen van planten. De eerste stap van de beeldverwerking is het onderscheid maken tussen planten en bodem, vervolgens moeten de vorm, structuur en de kleur van de planten herkend worden. Wanneer onkruid een typisch andere vorm of kleur geeft dan het gewas is het mogelijk om onderscheid te zien tussen het gewas en onkruid. De RGB camera wordt vaak gebruikt in combinatie met andere sensoren om multispectrale beelden te maken (Keicher & Seufert, 2000).

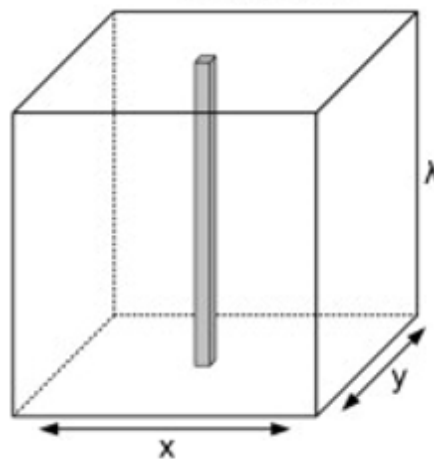


Figuur 16 Voorbeeld van een RGB camera

3.1.2.2 Multi- en hyperspectrale camera's

Deze camera's zijn gelijkaardig aan RGB camera's maar maken gebruik van meer dan drie banden. Hun gebruik vertoont overeenkomsten met spectroscopie. Bij spectroscopie wordt gebruik gemaakt van lichtstralen en hun golflengte om de samenstelling van het geanalyseerde materiaal te bepalen. Nadeel is dat dit vaak een puntmeting betreft. Door het samenbrengen van enerzijds beeldvormingstechniek en anderzijds spectroscopie kan men enkele beperkingen uitschakelen. Door het nemen van multi- of hyperspectrale beelden kan men zowel informatie met betrekking tot reflectie van lichtstralen bekomen, maar ook spatiale informatie.

Spectrale camera's hebben een driedimensionale output: ze hebben twee spatiale dimensies (x, y) en één spectrale dimensie (λ). Dit wordt geïllustreerd op Figuur 17. Een spatiale dimensie is een dimensie in de driedimensionale ruimte die wordt geprojecteerd op een tweedimensionale sensor, wat resulteert in een tweedimensionaal beeld. De spectrale dimensie geeft informatie over de intensiteit van de bekomen sensorwaarden op verschillende golflengtes in het elektromagnetisch spectrum. De gekozen sensor heeft een bepaalde spatiale resolutie. Deze resolutie bepaalt hoeveel pixels de camerasensor bevat en, gekoppeld aan een bepaalde sensorgrootte, hoe groot één pixel is. In de spectrale dimensie wordt de resolutie bepaald door het aantal spectrale banden (op verschillende golflengten) die door de sensor worden opgemeten. Een RGB camera heeft dus een spectrale resolutie van drie banden. Verder wordt een onderscheid gemaakt tussen multi- en hyperspectrale camera's. Bij multispectrale camera's bekomt men vaak een hogere spatiale en een lagere spectrale resolutie wat leidt tot minder data en een gemakkelijkere analyse in vergelijking met hyperspectrale camera's. Hyperspectrale camera's hebben een grotere spectrale resolutie wat leidt tot grotere datapakketten. De spatiale resolutie is hier vaak heel wat lager (Qin et al, 2013).

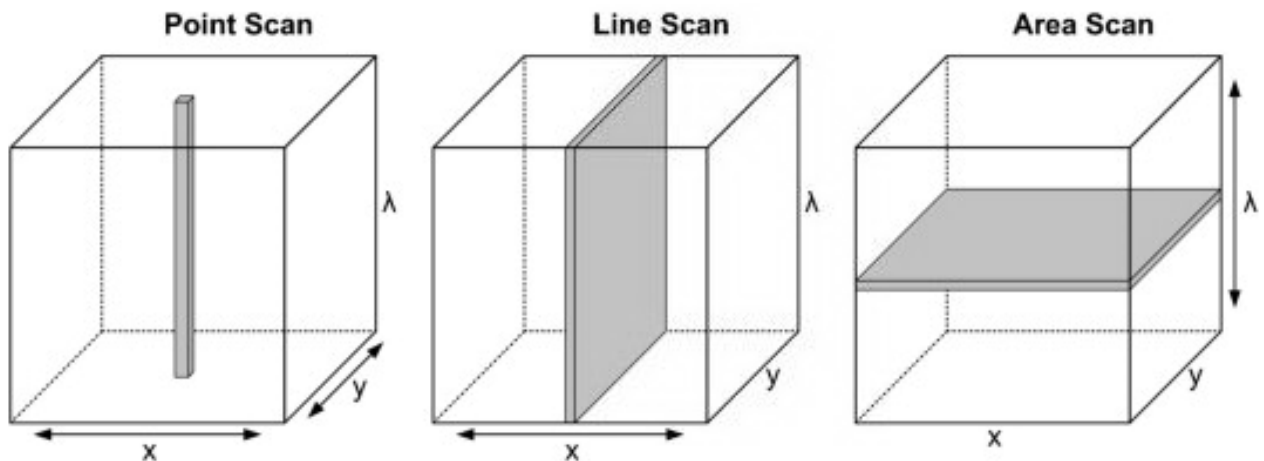


Figuur 17 Voorstelling van een hyperkubus met x - en y -vlak als spatiale resolutie en λ -vlak als spectrale resolutie

Beeldacquisitietechnologie

Er bestaan drie methodes voor het vastleggen van multi- of hyperspectrale beelden: point scan, line scan en area scan. In de point scan methode wordt één punt in twee dimensies gescand. Zo wordt de spectrale respons van één pixel in kaart gebracht. Wanneer we de pixel verplaatsen kan een andere pixel gescand worden, waarna alle resterende pixels in het te scannen oppervlak kunnen gescand worden. Het nadeel hiervan is dat de beweging die het voorwerp of camera uitvoert gecontroleerd moet zijn. Wanneer er hier een afwijking optreedt, leidt dit tot een verkeerd resultaat. De point scan methode heeft als nadeel tijdrovend te zijn waardoor deze minder praktisch wordt. Een andere methode is de line scan. Dit is een uitbreiding op de point scan. In plaats van één pixel te scannen, wordt er een lijn gescand die de volledige resolutie van één spatiale dimensie omvat (vb alle pixels in de y richting, maar slechts 1 pixel in de x richting), waarna de scanner of het te scannen object verplaatst wordt volgens de tweede dimensie (de x richting) tot het voorwerp volledig gescand is. Meestal wordt deze scan uitgevoerd door het bewegen van de camera of het te scannen voorwerp. Een praktisch voorbeeld vanuit de voedingsindustrie is het scannen van een voorwerp op een lopende band. Doordat de camera loodrecht boven de band geplaatst wordt en de band het

voorwerp verplaatst met een constante snelheid en over één spatiale vlak is het zo mogelijk een voorwerp te scannen. In tegenstelling tot de vorige twee methodes die een verplaatsing in de ruimte zijn wordt bij de area scan methode de volledige spatiale resolutie in 2D in één keer gescand. Zo wordt het object over zijn totale grootte gescand volgens golflengte en wordt bij het op elkaar plaatsen van deze lagen de hyperkubus gevormd (Qin et al, 2013).



Figuur 18 Voorstelling van methodes voor het benaderen van een multispectrale kubus met x en y de spatiale resolutie en λ de spectrale resolutie. Pijlen stellen scan richting voor, grijze oppervlaktes stellen gescande gegevens voor in één scan (Qin et al, 2013).

Multispectrale sensoren hebben als doel sneller meer informatie te verkrijgen over het object (minder data). Dit heeft wel als nadeel dat het aantal spectrale banden kleiner is dan bij een hyperspectrale camera. In de praktijk wordt meestal gebruik gemaakt van de line- of area scan methode. Voorbeelden hiervan zijn sensoren gebruikt voor NDVI bepaling van gewassen. Deze worden onder sectie toepassingen uitgelegd. Hyperspectrale sensoren worden toegepast om veel meer informatie te verkrijgen over het object. De spectrale resolutie is veel hoger in vergelijking met multispectrale camera's. Iedere spectrale dimensie voegt een nieuwe reeks gegevens toe aan de hyperkubus. Dit komt omdat er gebruik gemaakt wordt van complexere logaritmen. Hier worden de drie scantypes toegepast (Qin et al, 2013). Een voorbeeld van een hyperspectrale camera is Snapshot (Bodkin et al, 2009).

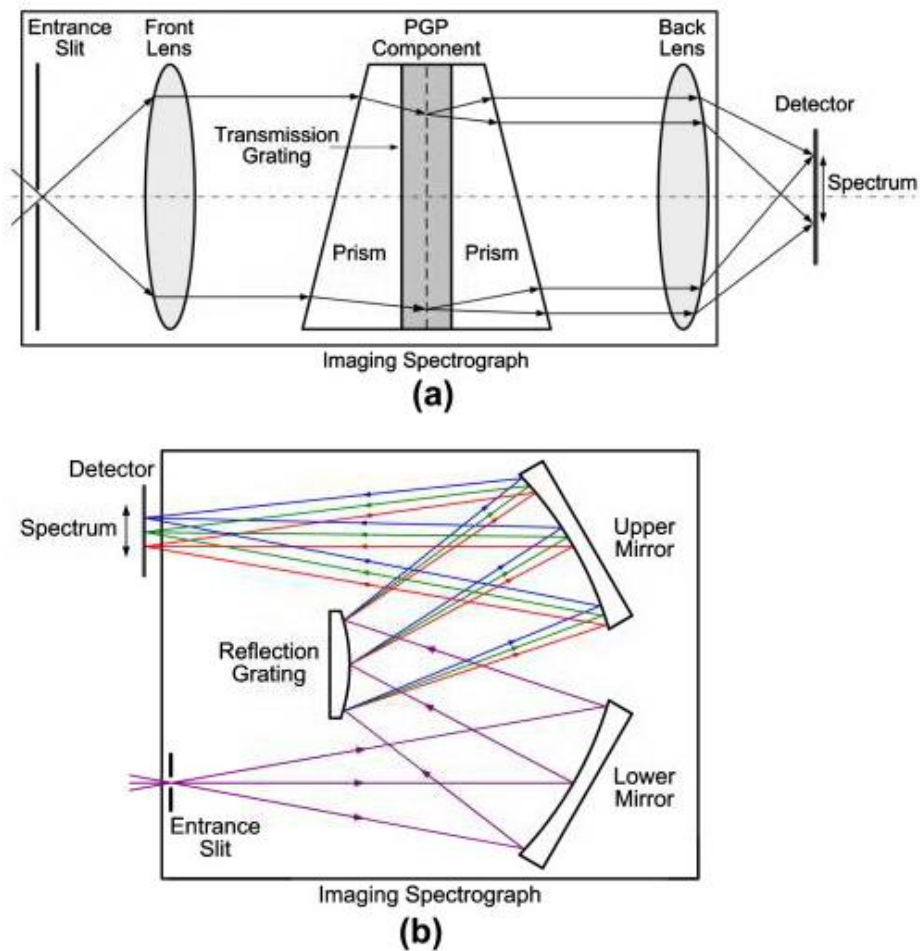
Onderdelen en werking van een meetsysteem

Bij het gebruik van spectrale sensoren zijn meerdere randvoorwaarden zoals lichtinval en positie tot het voorwerp, belangrijk. Deze onderdelen worden hierna beschreven. Globaal kan een onderscheid gemaakt worden tussen sensoren die uitgerust zijn met een lichtbron (=actieve sensor) of gebruik maken van een externe lichtbron zoals zonlicht (=passieve sensor).

Bij een actieve sensor wordt gebruik gemaakt van een verlichtingsbron of een excitatiebron. Bij een verlichtingsbron kan gebruik gemaakt worden van een halogeen lamp zoals een Quartz tungsten halogeen (QTH). Deze lamp resulteert in een breed golflengtespectrum van het zichtbaar licht tot

infrarood spectrum (Kim et al, 2001). Ook LED-lampen kunnen hiervoor gebruikt worden. Deze hebben een langere levensduur, zijn minder energieverwendend, produceren minder hitte, zijn kleiner, reageren sneller en zijn niet gevoelig aan vibraties (Lawrence et al, 2007). Een andere manier om te belichten is het gebruik maken van een laser. Dit is een geëxciteerde bron met een krachtige monochromatische lichtbundel die atomen kan exciteren. Het voordeel van een monochromatische lichtbundel is dat de lichtbundel uit slechts één golflengte bestaat waardoor afwijkingen hierop uitgesloten kunnen worden. De toepassing hiervan rust op het fluorescentieprincipe. De voordelen van een laser zijn dat deze heel monochromatisch is en geconcentreerd op één precieze plaats (Noh & Lu, 2007).

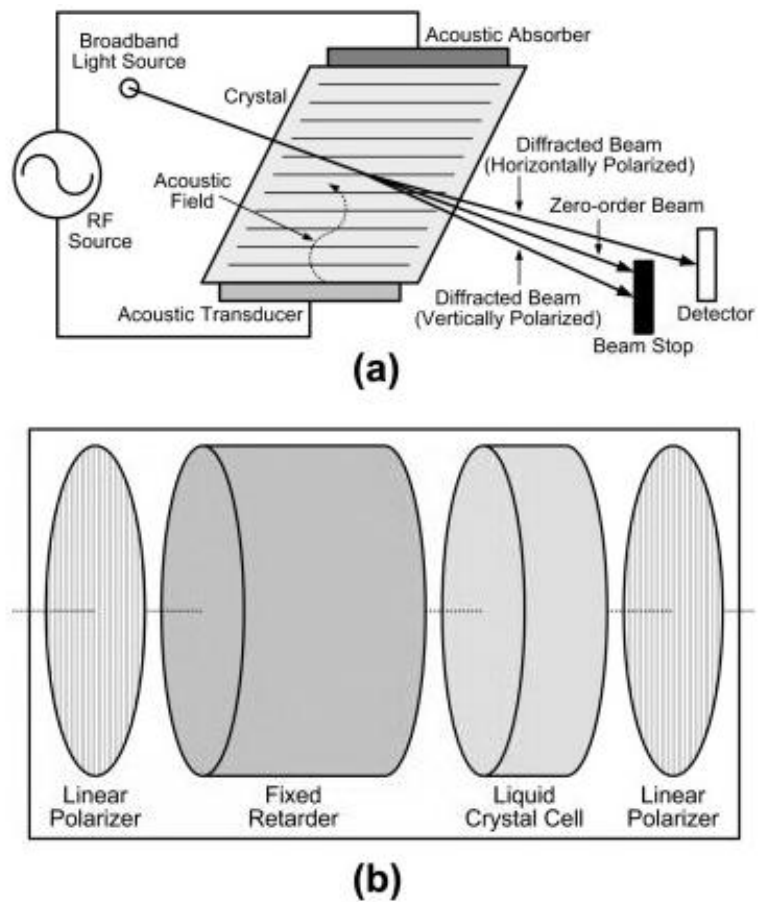
Voor het bekomen van meerdere spectrale banden maken sommige camera's gebruik van een golflengtedispersieapparaat. Dit verdeelt de weerkaatste/opgevangen lichtstralen in verschillende golflengtes zodat deze gedetecteerd kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is een imaging spectrograph (Figuur 19 a). Deze is opgebouwd uit verschillende lenzen en een prisma. Het beeld wordt door een lens gestuurd zodat deze een zuivere lichtbundel vormen. Deze bundel wordt vervolgens door een prisma gestuurd. Door de diffractie die hier plaats vindt, worden de golflengtes van elkaar gescheiden. Deze wijken nog meer af wanneer ze door een laatste lens gezonden worden en vervolgens opgevangen door detectoren. Het resultaat van deze detectoren kan worden weergegeven in een spectrum. Andere sensoren maken dan weer gebruik van verschillende camera's met aangepaste lenzen. Zo wordt er per golflengte die gemeten wordt een lens en camera gebruikt die toelaat enkel deze lichtgolf te detecteren. Een andere methode die gebruikt kan worden, is een filtersysteem opgebouwd uit spiegels (Figuur 19 b). Door de lichtbundel te laten weerkaatsen in verschillende spiegels worden de golflengtes van elkaar gescheiden tot uiteindelijk een spectrum gevormd wordt (Park et al, 2001).



Figuur 19 Twee voorbeelden van imaging spectrographs: a) prism-grating-prism (PGP) imaging spectrograph en b) Offner imaging spectrograph (Qin et al, 2013)

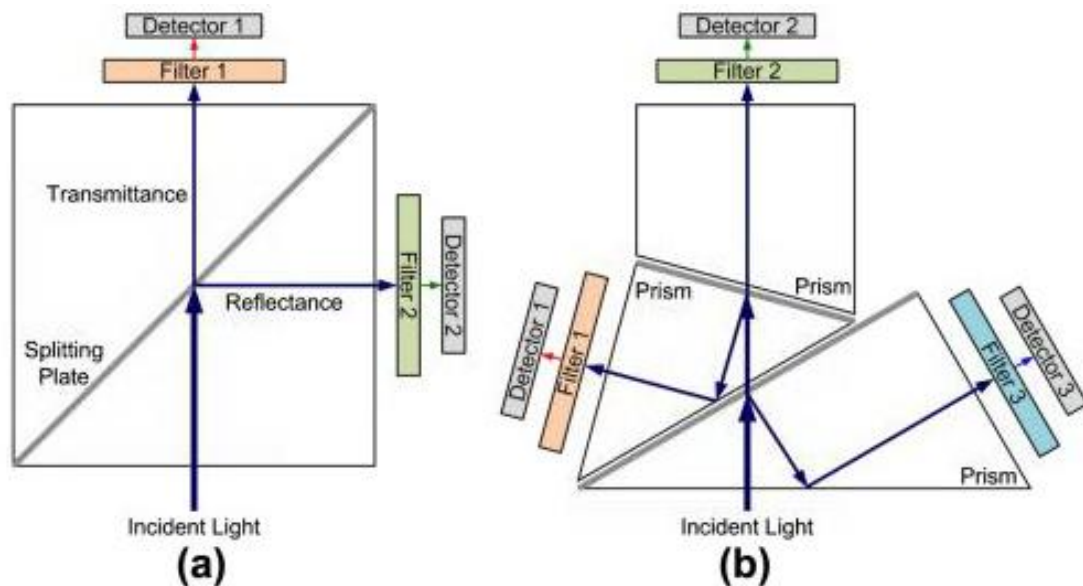
Een derde methode maakt gebruik van elektronisch veranderbare filters. Deze filters zijn opgebouwd uit materialen die bij een bepaalde elektrische lading slechts bepaalde golflengtes doorlaten. Hier heeft men de keuze tussen acousto-optic tunable filters (AOTF) of liquid crystal tunable filters (LCTF).

Een AOTF is een apparaat dat één golflengte kan isoleren uit een lichtbundel door licht-geluidinteracties in het kristal. Een akoestische transducer stuurt akoestische golven door het kristal waardoor de brekingsindex van het kristal gewijzigd wordt. Dit laat toe dat slechts één golflengte door het kristal gelaten wordt. Door de akoestische frequentie te wijzigen kunnen andere golflengtes gemeten worden. LCTF maakt gebruik van hetzelfde principe, maar hier gebeurt de wijziging van brekingsindex van de kristal door verandering in elektrische lading. Beide werkingsprincipes zijn terug te vinden in Figuur 20. Het voordeel van elektronische veranderbare filters is de snelheid waarmee men kan wisselen tussen de golflengtes. Bij mechanische filters zoals spiegels is dit veel complexer.



Figuur 20 Weringsprincipe van a) AOTF en b) LCTF (Morris et al, 1994)

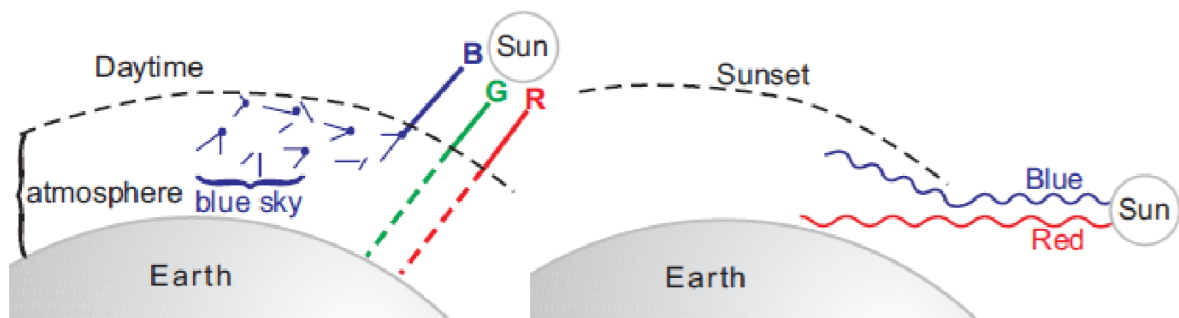
De laatste methode die gebruikt wordt is het splitsen van de lichtstraal in verschillende bundels waarvan we van een kleinere bundel gelijktijdig verschillende golflengtes kunnen meten. Dit kan op basis van kleur of neutraal. De deelbundels van de lichtstraal worden dan door filters gestuurd die de intentie per golflengte meten. Deze methode wordt vaak gebruikt in de landbouw vanwege zijn eenvoud en snelle werking (Peng & Lu, 2006).



Figuur 21 Werkingsprincipe van lichtbundel splitsend toestel voor multispectrale imaging. a) detectie op twee golflengtes b) detectie op drie golflengtes (Peng & Lu, 2006)

Kalibreren van het systeem

Bij multi- en hyperspectrale beeldacquisitie in de landbouw meet men reflecties van het gewas en de bodem op. De belichtingsomstandigheden bij verschillende tests en de gevoeligheid van verschillende types sensoren zijn echter niet gelijk. Bijkomend is de atmosferische invloeden die zorgen voor diffusie van het licht. Deze kan veroorzaakt worden door de stand van de zon (Figuur 22) maar ook door aerosols, stof, smog, mist en wolken.

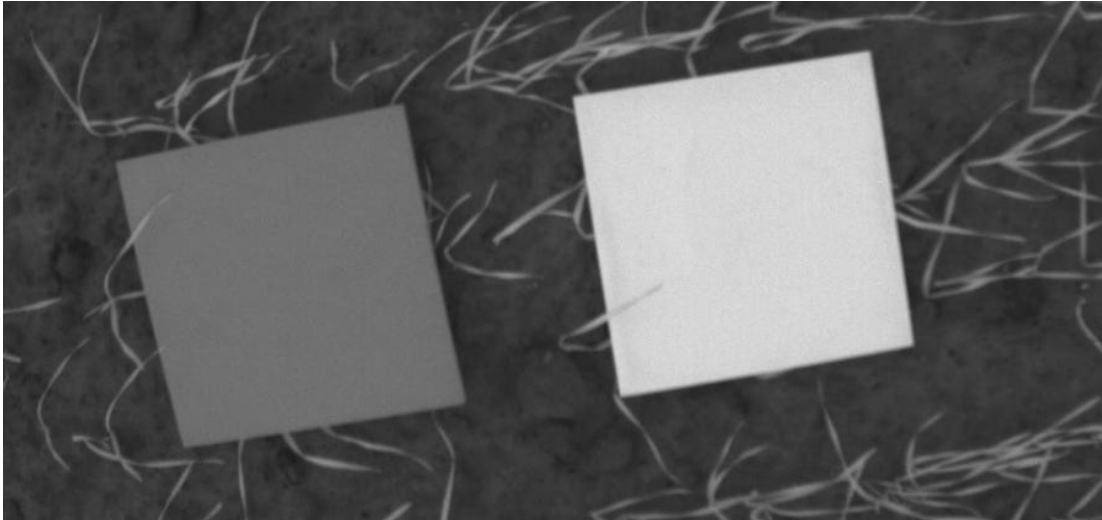


Figuur 22 Schematische voorstelling van fouten die kunnen ontstaan tijdens het veranderen van hoek van de zon. Waarbij recht enkel het rode licht het oppervlak bereikt (zonsondergang) en links het blauw licht zorgt voor diffusie en de blauw kleur van de hemel

Hierdoor worden metingen altijd relatief tegenover een referentie uitgedrukt. Daarom moet het systeem voor gebruik altijd gekalibreerd worden. Dit gebeurt door het nemen van beelden van een reflectieplaat met een verschillende albedo waarde (Figuur 23). Omdat we de verwachte reflectie van deze beelden kennen, kunnen we deze beelden gebruiken om de gemeten waarden te normaliseren, dit gebeurt vaak met de vergelijking 3. 1 waarbij D de pixelwaarde donkermeting, wanneer er geen licht op sensor schijnt, S de pixelwaarde die gelezen wordt en I de pixelwaarde van de spectrale referentieplaat voorstelt.

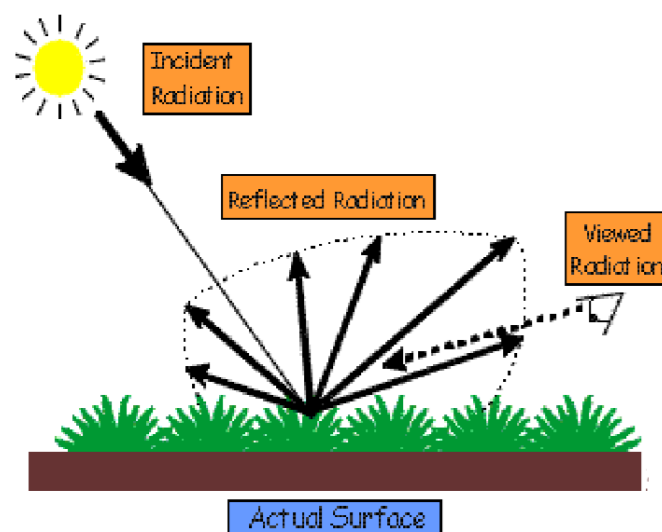
$$R = \frac{(S - D)}{(I - D)} \quad 3.1$$

Op deze wijze worden afwijking door cameragevoeligheid en andere lichtintensiteit vermeden. Maar het is ook noodzakelijk dat de ruimtelijke positie correct is. Deze wordt juist gesteld met behulp van een procedure afhankelijk van de soort camera (Qin et al, 2010).



Figuur 23 Foto van twee reflectieplaten in het NIR-gebied: links plaat met 50% reflectie, rechts plaat met 100% reflectie

Naast de hoek waaronder de lichtstralen het planten materiaal bereikt kan ook de hoek van de observatie een invloed hebben op het resultaat. De invloed van beiden wordt gegroepeerd onder de naam bidirectional reflectance distribution function of BRDF. Deze afwijkingen zorgen ervoor dat beelden donkerder of helderder zijn dan in de normale situatie (Figuur 24). Dit kan voorkomen worden door altijd loodrecht boven het gewenste punt te staan. Dit niet altijd mogelijk bij satellieten waardoor een correctie noodzakelijk is maar vaak nooit gebeurt.



Figuur 24 Schets van invloed BRDF

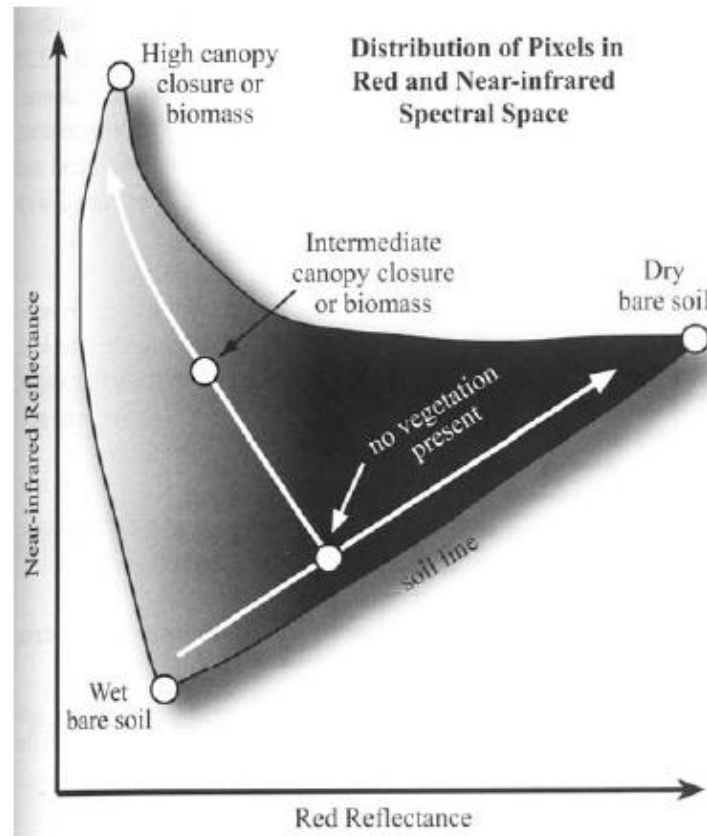
Preprocessing en processing van de data

Ruwe spectrale beelden bevatten veel achtergrondruis en onnuttige informatie. Omdat de bestanden al veel informatie bevatten, is het noodzakelijk deze onnuttige informatie uit de dataset te verwijderen zodat het systeem niet onnodig belast wordt. Vaak worden voor een bepaald resultaat enkel de nodige golflengtes geselecteerd en samen in één map geplaatst. Omdat standaard bij iedere beeldopname er een overlapping is, is het nodig dat deze overlapping verwijderd wordt. Hiervoor worden alle afbeeldingen aan elkaar geplakt of gestitchet tot één grote afbeelding met alle nodige informatie die een map genoemd wordt (Qin et al, 2013). Een vaak gebruikte methode is het stapelen van verschillende reflectie mappen in één map. Hierbij wordt een RGB beeld van het perceel als bovenste kaart gebruikt en worden andere reflectiemappen hier ondergeschikt en alles gekoppeld aan dezelfde gps-punten (Chao et al, 2008). Meestal gebeurt dit door hetzelfde programma waarmee de beeldverwerking uitgevoerd wordt. Dit kan men handmatig uitvoeren maar er bestaat ook software op de markt die het analyseren van de data vereenvoudigt.

Parameters

RGB en multispectrale camera's worden het meest toegepast als sensing application. Ze leren ons hoeveel licht planten absorberen. Wanneer we met deze data een model willen opstellen voor het behandelen van percelen moeten we de juiste gegevens met elkaar kunnen vergelijken. Zo is er een noodzaak om parameters te zoeken die ons meer zeggen over het gewastoeestand. Zoals al eerder in Figuur 15 weergegeven wordt, hebben planten meestal een andere reflectie curve. Door op specifieke gebieden de reflectie te meten, kan er mogelijk een verschil gedetecteerd worden tussen beide planten. Deze gebieden in het spectrum zijn in VIS: blue, green, red, red edge en het NIR. Elk van deze gebieden duidt op een bepaalde toestand van de plant. Om de verschillen te verduidelijken en deze te normaliseren werden talrijke parameters gedefinieerd, maar niet allen zijn even bruikbaar. De belangrijkste parameters die terug te vinden zijn in wetenschappelijke literatuur zijn normalised difference vegetation, color infra-red, normalised difference red edge, chlorophyll-map, optimized soil adjusted vegetation index, digital surface model, weighted difference vegetation index, green normalized difference vegetation index en green red vegetation. Er bestaan nog meer parameters maar deze zijn minder vaak gebruikt in wetenschappelijk werk. Vaak zijn deze parameters varianten op bestaan of krijgen bestaande parameters verschillende benamingen en zijn ze zelf nog niet genormaliseerd waardoor data tussen verschillende metingen niet meer vergeleken kunnen worden.

In Figuur 25 wordt in de grafiek de variatie van NIR en rode reflectie weergegeven volgens stadium van het gewas. Door met deze twee factoren berekeningen uit te voeren, kan een beter zicht op de gewasontwikkeling verkregen worden. Wanneer er vervolgens twee planten met elkaar vergeleken worden, kan een verschil in ontwikkeling bepaald worden.



Figuur 25 relatie tussen gewasontwikkeling en spectra in NIR-RED (Silleos et al, 2006)

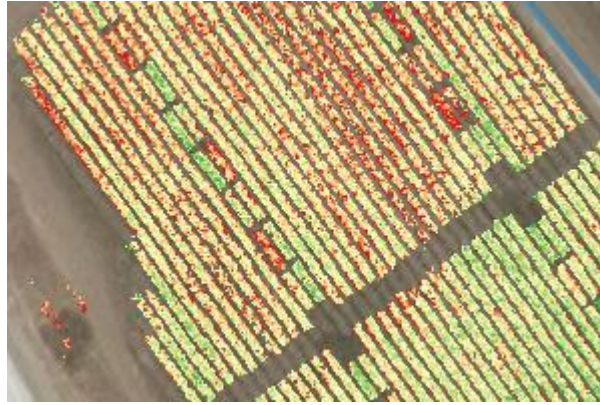
a) NDVI

Normalised difference vegetation index of kortweg NDVI (Figuur 26) is een indicator voor fotosynthese en dus voor een levende biomassa: NIR lichtstralen worden volledig weerkaatst en niet gebruikt voor de fotosynthese of opgenomen door de plant. Wanneer men dus deze NIR en zichtbaar licht met elkaar vergelijkt, kan men de hoeveelheid levend plantenmateriaal dat aan fotosynthese doet in kaart brengen. In formule 3.1 worden de waarden voor reflectie van NIR en VIS gebruikt. Omdat de belichting van de plant en dus de reflectie vaak kan verschillen, wordt gebruik gemaakt van een genormaliseerde waarde die tussen -1 en 1 ligt. Hoe dichterbij 1 de NDVI ligt, hoe meer fotosynthese er plaatsvindt en dus hoe meer biomassa of levende planten er aanwezig is. Wanneer de waarde naar -1 neigt, duidt dit op niet begroeide bodem en dus bijna geen fotosynthese.

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad 3.1$$

De invloed op NDVI werd al in vele proeven onderzocht. Zo werd al aangetoond dat hoe groter de Leaf Area Index is, hoe dichterbij de waarde van NDVI bij 1 komt. Maar hoe hoger de waarde, hoe onbetrouwbaarder ze wordt door verzadiging van het beeld. Vaak treedt verzadiging van het beeld al op bij een LAI van 1,5 à 2 (Carlson & Ripley, 1997).

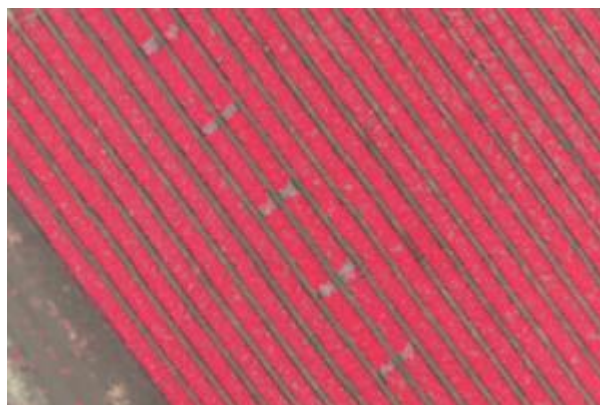
NDVI wordt vaak gebruikt om een idee te krijgen over het opbrengstpotentieel, plantenactiviteit, bladvoedingsstofgehalte en groeikracht van de plant.



Figuur 26 Voorbeeld van een Normalised difference vegetation index map (MicaSense, 2017c)
rood = lage NDVI, groen = hoge NDVI

b) CIR

Color infra-red is geen index maar een kleuring van de map (Figuur 27). Dit wil zeggen dat de map uit andere kleuren zal bestaan. In plaats van standaard rood, groen en blauwe banden wordt hier gebruik gemaakt van NIR. Zo wordt als rode kleur de weerkaatsing van NIR, als groene kleur de weerkaatsing van roodlicht en de weerkaatsing van groen licht gebruikt als blauwe kleur, waardoor de nadruk in deze map op het watergehalte ligt. Omdat verschil in watergehalte een verschil in weerkaatsing van NIR resulteert. Een normaal beeld krijgt hier een rode kleur. Wanneer een plant ziek wordt, zal deze dus minder water bevatten waardoor dit leidt tot een verminderde reflectie van NIR, maar ook zal er meer groen licht geabsorbeerd worden waardoor het effect versterkt wordt en de plant roos kleurt op de map (MicaSense, 2017c). Deze index helpt om de gezondheid en het watergehalte van de plant te beoordelen. Maar het kan ook een gevolg zijn van de samenstelling van de bodem.



Figuur 27 Voorbeeld van een Color infra-red map (MicaSense, 2017c).

c) NDRE

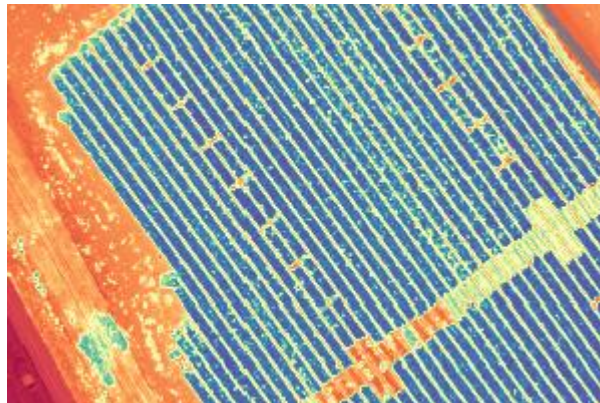
Normalised difference red edge (Figuur 28) is een indicator voor de hoeveelheid chlorofyl aanwezig in de plant. Omdat reflectie van red edge minder gevoelig is voor invloeden van de bodem is dit een goede indicator. Red Edge reflectie biedt ons informatie die we niet uit NIR en zichtbaar licht kunnen halen. RE komt meestal voor bij maximale helling in het spectrum tussen 680-750nm. De exacte plaats van RE is afhankelijk van de hoeveelheid chlorofyl die aanwezig is: hoe meer chlorofyl er

aanwezig is, hoe verder deze zal opschuiven naar langere golflengtes. Door deze plaats te bepalen kunnen onderzoekers de concentratie aan chlorofyl achterhalen (Clevers, 1999).

De aanwezigheid van chlorofyl a en b in de plant is sterk afhankelijk van stikstof. Stikstof is een belangrijk element voor proteïnen en zorgt dus voor een goed metabolisme. Wanneer er meer stikstof ter beschikking is zal er dus een hogere NDRE waarde terug te vinden zijn (Mutanga & Skidmore, 2007).

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE} \quad 3.2$$

Deze indicator geeft ons dus een duidelijk beeld over de hoeveelheid chlorofyl aanwezig in de plant, plantenactiviteit, het stressniveau en behoefte aan nutriënten.

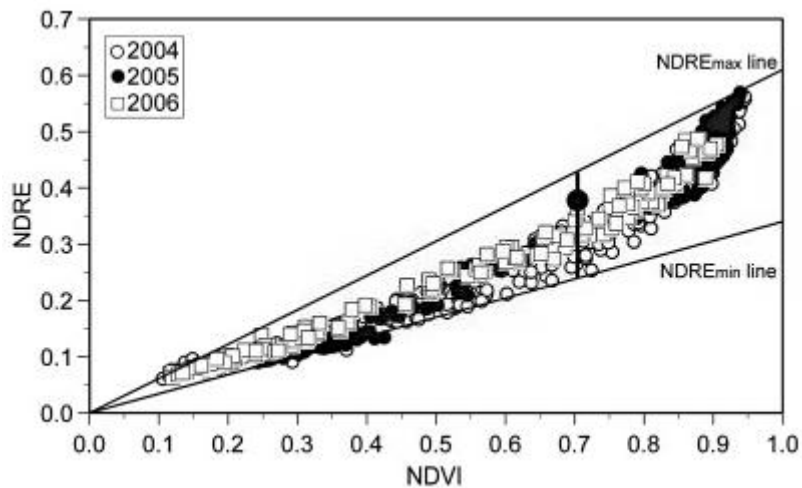


Figuur 28 Voorbeeld van een Normalised difference red edge map (MicaSense, 2017c)
rood = lage NDRE, blauw = hoge NDRE

d) Canopy Chlorophyll Content index

CCCI is een speciale parameter die bekomen wordt door de twee verschillende parameters NDVI en NDRE. Door beide grafisch voor te stellen kan visueel een minimum en maximum waarde voor NDRE berekend worden. Deze waardes worden vervolgens gebruikt om de CCCI te berekenen. Volgens de literatuur is CCCI een van de betere parameters om een variabele stikstof bemesting uit te voeren. Dit komt door de combinatie van NDVI die de biomassa schat en NDRE die de stikstof inhoud schat. In enkele studie blijkt wel dat CCCI geen goede schatter is voor vroege stikstofbemesting en bij geen volledige grondbedekking zijn betrouwbaarheid verminderd. Er kan dus geconcludeerd worden dat CCCI mogelijks een goede schatter kan zijn voor stikstofbemesting maar dat verder onderzoek noodzakelijk is (Fitzgerald, Rodriguez et al., 2010).

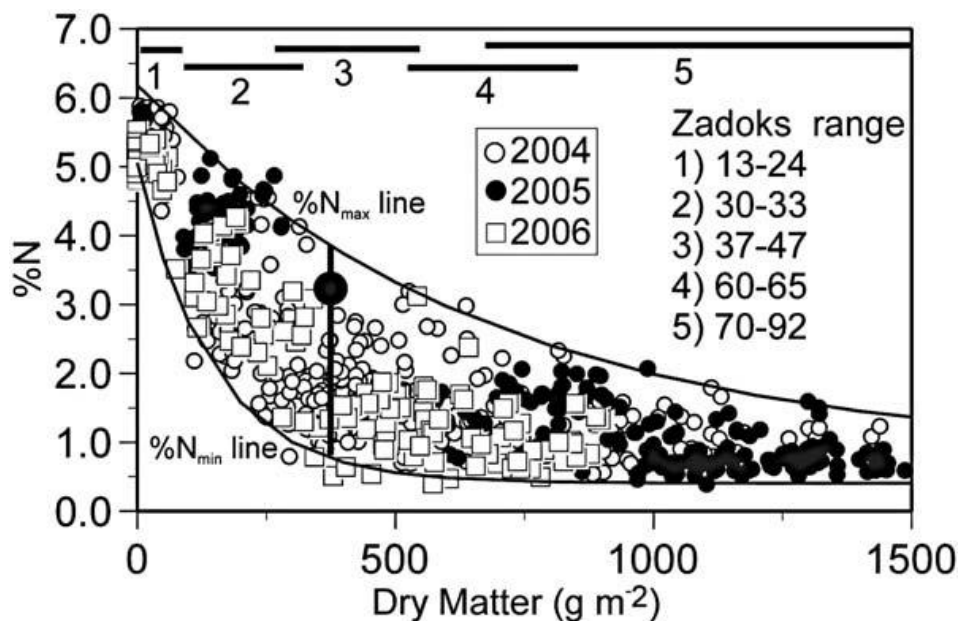
$$CCCI = \frac{NDRE - NDRE_{min}}{NDRE_{max} - NDRE_{min}} \quad 3.3$$



Figuur 29 Relatie tussen NDVI en NDRE om CCI te berekenen (Fitzgerald, Rodriguez et al., 2010)

e) Canopy nitrogen index

CNI of Canopy nitrogen index is een parameter die gebruikt wordt voor het stikstofgehalte van de plant in te schatten. Hierbij wordt experimenteel van alle planten een staal genomen en het stikstofgehalte bepaald. Dit wordt vervolgens uitgezet in een grafiek en de berekening op dezelfde wijze uitgevoerd zoals bij CCI (Fitzgerald, Rodriguez et al., 2010).



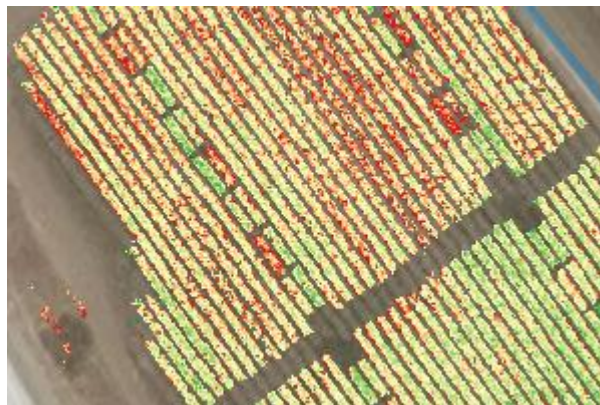
Figuur 30 Verhouding tussen %N en droge stof (Fitzgerald, Rodriguez et al., 2010)

Het stikstofgehalte van een plant bepaalt hoeveel chlorofyl er aanwezig is. Hierdoor kan het chlorofyl gehalte ingeschat worden. Maar het chlorofyl gehalte kan ook ingeschat worden door de red edge positie. Waardoor in omgekeerde wijze aan de hand van het chlorofyl gehalte het stikstofgehalte van de plant kan worden bepaald.

$$CNI = \frac{\%N - \%N_{min}}{\%N_{max} - \%N_{min}} \quad 3.4$$

f) Chlorophyll-map

Deze map (Figuur 31) geeft gelijkaardige informatie als de NDRE-map, maar is minder gevoelig voor bodemoppervlak. Ze meet het gehalte aan chlorofyl door reflectie in functie van de bedekking van het gewas en de nutriëntenbeschikbaarheid. Dit gebeurt met dezelfde manier als NDRE maar hier worden negatieve waarden (die wijzen op naakte bodem) verwijderd. Dit geeft ons meer informatie over het chlorofylgehalte in de plant, hoe gezond en groeikrchtig de planten zijn, stressdetectie en stikstofaanwezigheid als deze limiterend is (MicaSense, 2017c). Om betrouwbare resultaten te bekomen is het noodzakelijk de sensor goed te kalibreren. Kleine veranderingen kunnen een duidelijk verschil maken. Daarom wordt deze enkel berekend wanneer men een gesloten bladerdek heeft. Wanneer een gewas nog niet volledig dichtgegroeid is, is het noodzakelijk bodempixels te verwijderen. Zo kan het ook gebeuren dat plantpixels uit de verzameling verwijderd worden.



Figuur 31 Voorbeeld van een Chlorophyll-map (MicaSense, 2017c)
rood = lage gehalte aan chlorofyl, groen = hoge gehalte aan chlorofyl

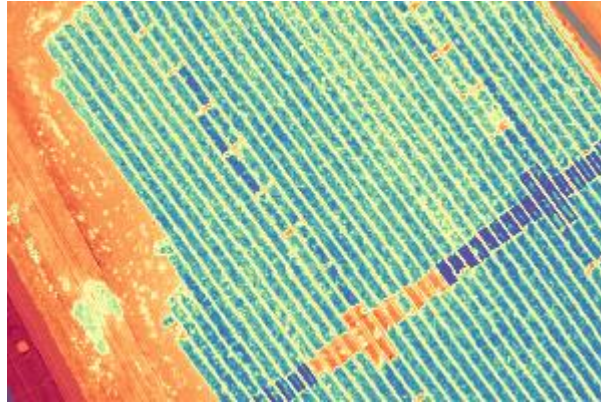
g) OSAVI

Optimized soil adjusted vegetation index (Figuur 32) beschrijft de plantdichtheid en zijn activiteit onafhankelijk van de bodeminvloed en is dus ideaal om te gebruiken wanneer de bedekking kleiner is dan 50 %. NDVI wordt in tegenstelling tot OSAVI wel beïnvloed door de bodem. Dit maakt OSAVI een goed alternatief wanneer er een te kleine bodembedekking is.

Omdat bij OSAVI geen bodempixels uit de data verwijderd worden, wordt er gebruik gemaakt van een bodemaanpassingscoëfficiënt = 0,16, samen met NIR en de rode band van zichtbaar licht. De waarde voor deze parameter ligt tussen -1 en 1 en hoe hoger de waarden, hoe gezonder de plant is en dus hoe gezonder de vegetatie (Haboudane et al, 2002).

$$\text{OSAVI} = 1,16 * \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED} + 0.16} \quad 3.5$$

Toepassingen van OSAVI zijn vooral voor het differentiëren van bodempixels, maar ook voor het berekenen van een LAI wanneer de NDVI verzadigd is en om de relatie tussen plant en bodem weer te geven (MicaSense, 2017c).

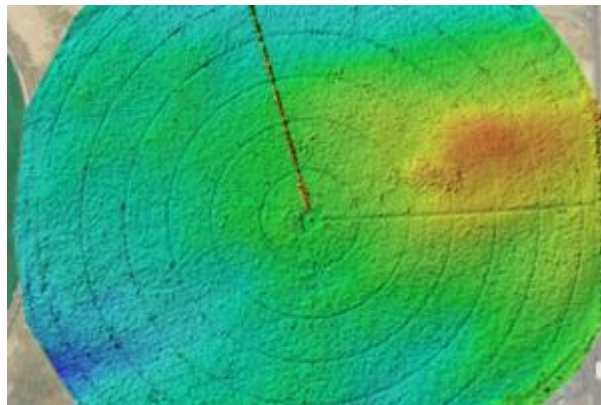


Figuur 32 Voorbeeld van een Optimized soil adjusted vegetation index –map (MicaSense, 2017c)
rood = lage OSAVI, Blauw= hoge OSAVI

h) DSM

Op een digital surface model (Figuur 33) of een digitaal model van de oppervlakte kan men de hoogte van planten terug vinden. De hoogteverschillen van het terrein worden weggewerkt en enkel de hoogte van de planten is zichtbaar. Zo kan men een duidelijk hoogteverschil tussen een boom en een struik zien.

Dit model wordt vooral toegepast om een relatief gewasvolume te beoordelen, oppervlaktekenmerken te identificeren en een model van de waterstroom en accumulatie op te bouwen.



Figuur 33 Voorbeeld van een digital surface model, hier stelt het kleurverschil, een verschil in hoogte voor (MicaSense, 2017a)

i) WDV

WDVI of Weighted Difference Vegetation Index berust op hetzelfde principe als NDVI, maar met een correctie. Doordat een plant in het generatief stadium minder aan fotosynthese doet en de bladeren tijdens het afrijpen geel worden, kan de NDVI verkeerd ingeschat worden. Bij de senescentie op het einde van het groeiseizoen verhoogt de reflectie van zichtbaar licht door de verminderde fotosynthese en verlaagt de reflectie van near infrared door de gele en dode bladeren. De algemene formule die gebruikt wordt om WDV te berekenen is vergelijking 3.6 waar R_{ir} = totaal gemeten near infrared reflectie, R_r = totaal gemeten zichtbaar licht reflectie en C correctiefactor te berekenen met

formule 3.7 met $R_{s,ir}$ = near infrared reflectie van de bodem en $R_{s,r}$ = zichtbaar licht reflectie van de bodem (Clevers, 1991).

$$WDVI = R_{ir} - C * R_r \quad 3.6$$

$$C = \frac{R_{s,ir}}{R_{s,r}} \quad 3.7$$

j) GNDVI

De green normalized difference vegetation index heeft een grotere gevoeligheid voor absorptie van groen licht dan een standaard NDVI. Deze kan zelfs tot vijf maal gevoeliger zijn voor een chlorofyl-a concentratie. Dit komt omdat bij de berekening gebruik gemaakt wordt van de groene band. Omdat chlorofyl vooral deze band weerkaatst zal dit leiden tot kleinere absorptiewaarden, waardoor direct een link gelegd kan worden naar activiteiten van de plant zoals bij de index NDVI (MicaSense, 2017b).

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN} \quad 3.8$$

k) GRVI

GRVI of green red vegetation index kan gebruikt worden om de fotosynthetisch actieve biomassa te bepalen. Deze wordt berekend op verschillende manieren.

Wanneer men groene vegetatie scant zal GREEN hoger zijn dan RED. Maar als men de bodem bestudeerd zal GREEN net lager zijn dan RED wat dus een duidelijk verschil oplevert. Wanneer een blad minder fotosynthetisch actief wordt, wordt minder GREEN gereflecteerd wat leidt tot lagere absorptiewaarden. Een blad kan minder aan fotosynthese doen doordat ze beschadigd is of verkleurd door afrijping. Daarom is GRVI een goede indicator voor fotosynthetisch actieve biomassa (Motohka et al, 2010).

De algemene formule 3.9 wordt toegepast op éénzelfde perceel. Deze GRVI is niet genormaliseerd waardoor men een nieuwe vergelijking 3.10 ontwikkelde die een genormaliseerde GRVI weergeeft. Dit maakt mogelijk om verschillende percelen met elkaar te vergelijken.

$$GRVI = \frac{NIR}{GREEN} \quad 3.9$$

$$GRVI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED} \quad 3.10$$

l) Droogtestress

Een eerste manier om droogtestress te detecteren is Crop Water Stress index of CWSI. Om CWSI te kunnen bepalen is er nood aan gegevens van een thermale camera. Hierbij wordt de temperatuur van de planten vergeleken met elkaar. Zo wordt droogtestress ingeschat op basis van hoogste en laagste mogelijk temperatuur van de plant. Deze twee temperaturen moeten bepaald worden aan de hand van referentie planten waar eventueel stress wordt uitgelokt. Detectie aan de hand van hyperspectraal beelden is ook mogelijk door fluorescentie aan de hand van het Fraunhofer Line Depth principe. Hierbij wordt een verhouding opgesteld tussen de gereflecteerde straling en door de plant uitgestraalde straling en het direct verband met het vochtgehalte in de plant gemaakt. Maar deze techniek is nog in verdere ontwikkeling.

Aangezien infecties en ziektes de waterhuishouding van planten verstoren kunnen deze met dezelfde technieken opgespoord worden maar voorlopig wordt hier een nog te grote variatie verkregen. Waardoor de betrouwbaarheid te laag is en detectie in vroeg stadium nog niet mogelijk is.

m) Samenvattende tabel van de parameters

Tabel 5 Overzicht verschillende parameters

Parameter	Formule	Bepaalt:
NDVI	$\frac{\text{NIR} - \text{VIS}}{\text{NIR} + \text{VIS}}$	Biomassa en chlorofyl
NDRE	$\frac{\text{NIR} - \text{RE}}{\text{NIR} + \text{RE}}$	Chlorofylgehalte
CCCI	$\text{CCCI} = \frac{\text{NDRE} - \text{NDRE}_{\min}}{\text{NDRE}_{\max} - \text{NDRE}_{\min}}$	Inschatten stikstofgehalte gecorrigeerd voor bedekking
CNI	$\text{CNI} = \frac{\%N - \%N_{\min}}{\%N_{\max} - \%N_{\min}}$	Stikstofgehalte van de plant
OSAVI	$1,16 * \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED} + 0.16}$	NDVI gecorrigeerd voor bodeminvloed
WDVI	$R_{ir} - \frac{R_{s,ir}}{R_{s,r}} * R_r$	NDVI gecorrigeerd voor verkleuring door afrijping
GNDVI	$\frac{\text{NIR} - \text{GREEN}}{\text{NIR} + \text{GREEN}}$	Chlorofyl (gevoeliger dan NDVI)
GRVI	$\frac{\text{GREEN} - \text{RED}}{\text{GREEN} + \text{RED}}$	Actieve biomassa
CIR	Rood = NIR Groen = rood Blauw = groen	Watergehalte van de plant
Chlorofylmap	NDRE-map zonder negatieve waarden zoals bodem	Chlorofyl
DSM		hoogteverschillen

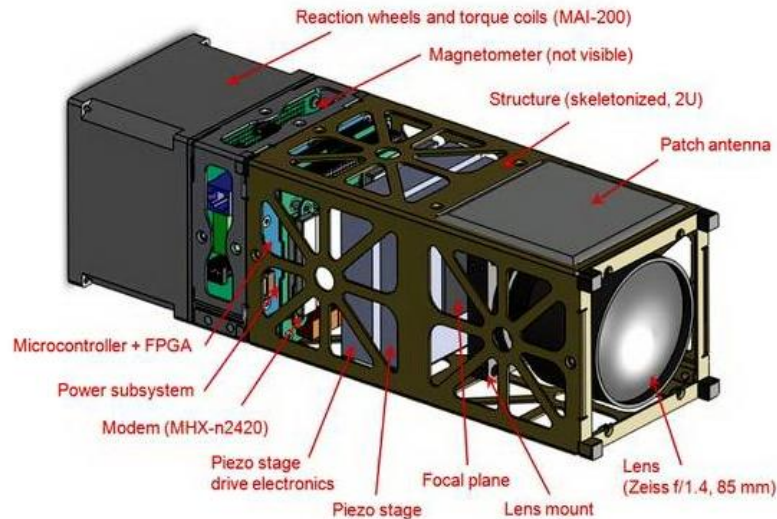
3.1.2.3 *Reflectiesensoren*

a) Satellietbeelden

Dagelijks maken satellieten beelden in spatiale en spectrale resoluties van de aarde en wordt dit verzameld in enorme databestanden. Deze enorme bestanden worden geanalyseerd door het Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek of Vito. Dit bedrijf maakt geïntegreerde systemen om al deze data te verwerken en te verdelen. Zo kunnen deze beelden beschikbaar gesteld worden voor onderzoekers. Maar deze data wordt ook gratis ter beschikking gesteld voor de gewone burger. Zo kan via een online tool, terrascope, satellietbeelden van Sentinel opgevraagd worden met verschillende spectrale dimensies met resolutie van 10 op 10 meter. Dit kan eventueel gebruikt worden door landbouwers om NDVI of andere indices te berekenen. Zelf is Vito bezig de gebruiksvriendelijkheid te verbeteren en applicaties te ontwikkelen zoals WatchItGrow.

b) CubeSat

Satellieten zijn groot en kosten zeer veel daarom zijn ze vaak eigendom van landen of grote firma's. Om de voordelen van satellieten toch beschikbaar te maken voor kleine bedrijven of ondernemers werd een nieuwe soort van satelliet op de markt gebracht, de CubeSat. Deze satelliet is een microsateeliet met een grootte van $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ en een gewicht van 1,3kg. Één unit kost ongeveer 100 000 à 150 000 euro maar verschillende unit's kunnen aan elkaar gekoppeld worden tot een groter station. De CubeSat is uitgerust met verschillende camera's met resolutie $< 1\text{m}$ en maken het vaakst beelden in het rood, groen, blauw en NIR spectrum. Verschillende CubeSat staan met elkaar in verbinding en vormen een wolk van kleine satellieten. Enkele bedrijven hebben zich hierop toegespitst met als motto iedere dag de volledige aarde te fotograferen. Zo heeft Planet Lab al 150 microsateelieten in de lucht maar dit bedrijf maakt geen beelden van het red edge spectrum. Astro Digital landmapper heeft 20 operationele CubeSats en heeft deze gekoppeld aan LandSat8 waardoor dagelijks ook thematische beelden gemaakt worden.



Figuur 34 Schets van een CubeSat bestaande uit 2 units met verschillende onderdelen

De voordelen van deze satellieten zijn hun hoge spatiale en temporale resolutie en hun goedkope prijs. Daarnaast wordt wel de levensduur en de kwaliteit in vraag gesteld. Het belangrijkste nadeel van de CubeSat zijn de verschillen in spectrale waardes tussen elke CubeSat (cross-sensor inconsistencies) (Boshuizen, Mason et al., 2014)



Figuur 35 Tekening van CubeSats als wolken in de ruimte (Boshuizen, Mason et al., 2014)

c) Parrot sequoia

De Parrot Sequoia is een multispectrale sensor voor agrarische doeleinden gebouwd om te voldoen aan de drie hoofdeigenschappen: hoge precisie, gemakkelijk in gebruik en compact. De sequoia kan op elk type drone gemonteerd worden of zelfs op minirobots. Deze camera heeft 5 sensors die elk een verschillende band van het spectrum meten. Deze banden zijn het groen 530-570nm, rood 640-

680nm, red edge 730-740nm, near infrared 770-810nm en RGB waarmee verschillende parameters kunnen berekend worden zoals NDVI, NDRE, stikstofniveau, enz.



Figuur 36 Parrot Sequoia (links) met zonnensensor (rechts) (Parrot, 2017a)

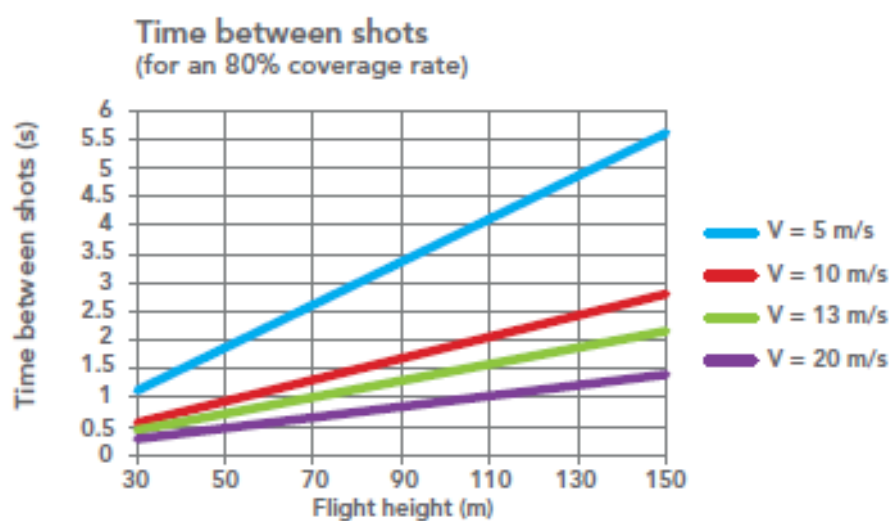
Dit toestel bestaat uit twee componenten: een multispectrale sensor en een zonnensensor. Beide worden op de drone gemonteerd. De multispectraal sensor wordt loodrecht naar beneden gemonteerd en de zonnensensor loodrecht naar boven zodat deze de zon optimaal kan waarnemen. De zonnensensor capteert de straling afkomstig van de zon. Zo kan men de totale lichtinval meten. Deze beelden worden vervolgens gebruikt om te corrigeren voor variabele lichtomstandigheden tijdens de meting. Dit heeft als voordeel dat de beelden kunnen genomen worden over verschillende tijden met verschillende lichtinval. Zo kunnen fouten door een veranderende lichtintensiteit uitgesloten worden. Om waarden tussen metingen te vergelijken moet nog steeds gebruik gemaakt worden van een spectrale referentiemeting (zie hierboven).

Als de sequoia op de drone gemonteerd is, is het noodzakelijk enkele kalibraties uit te voeren, zodat de sensor de juiste waarden gebruikt. Afwijkingen op absorptiewaarden kunnen ontstaan door het vochtgehalte van de lucht. Hoe hoger de drone vliegt, hoe groter de luchtlaag tussen de sensor en het gewas is en dus hoe groter de afwijking kan zijn. Maar ook een correctie van de zonnensensor is noodzakelijk zodat er een correcte absolute absorptie gemeten wordt. Andere zaken waar men moet opletten is de stand van de zon. Wanneer de zon niet op haar hoogste punt staat, gaan de zonnestralen door een dikkere luchtlaag die als een soort filter werkt. Daarom wordt altijd de voorkeur gegeven om te vliegen wanneer de zon op haar hoogste punt staat zodat de stralen zo weinig mogelijk beïnvloed worden. Verder kunnen schaduweffecten ook een vertekend beeld geven.

In beide onderdelen is ook een gyroscoop geïnstalleerd. Zo kan de sensor zijn oriëntatie bepalen. Wanneer de sensor onder een bepaalde hoek staat, kan hij zijn beelden hierop corrigeren. Ook is het mogelijk een GPS-systeem hieraan te koppelen zodat de sequoia zelf zijn pad bepaalt en zijn locatie opslaat bij het nemen van de foto's. Dit is nodig om later de beelden aan elkaar te kunnen plakken of stitchen. Maar deze technologie kan ook op de drone geïnstalleerd zijn.

Wanneer de kalibratie afgerond is, wordt de sequoia ingesteld. Hierbij is de hoogte van belang voor de resolutie van de beelden maar ook de tijd tussen de verschillende beelden. Deze tijd kan ingesteld worden op minimaal 1 sec tussen de beelden. Verder is de snelheid waarmee de drone vliegt ook van

belang om zo perfect mogelijke beelden te verkrijgen. Om correcte beelden te krijgen is het ook noodzakelijk te overlappen. Zo kunnen verschillende beelden gemakkelijker aan elkaar gekoppeld worden, ook bevindt één punt op het beeld op verschillende beelden waardoor exacte waarden bepaald kunnen worden. Hierdoor geldt dat hoe groter het percentage van overlapping is, hoe betrouwbaarder de beelden zijn. Vaak wordt gebruik gemaakt van een overlappingspercentage van 80 % maar er is minstens 75 % overlapping nodig om de beelden correct te stitchen (Parrot, 2017b). Figuur 37 illustreert bij een overlap van 80% welk interval tussen twee foto's je moet kiezen aan een bepaalde snelheid en hoogte. Om veel overlapping te hebben, moet de sensor veel foto's kunnen nemen in een zeer korte tijd. Hierbij moet de sequoia ook nog voldoende tijd hebben om de beelden te verwerken. Het is belangrijk te weten welke beelden en voor welk doel de beelden worden opgenomen, om de sequoia optimaal in te stellen.



Figuur 37 Vergelijking tussen hoogte en snelheid van de drone met de tijd tussen twee genomen foto's met overlap van 80% (Parrot, 2017b).

Omdat bij iedere momentopname 5 foto's elk afkomstig van de verschillende sensoren moeten verwerkt worden, mag men de tijd tussen de foto's niet te klein maken. Door Parrot wordt nog meegegeven dat het toestel 1,5 seconden nodig heeft om de foto's op te slaan op de externe geheugenkaart. Dit kan dus nadelig zijn wanneer de landbouwer een grote overlapping wenst maar toch op lage hoogte vliegt om een hoge resolutie te hebben.

Wanneer de vlucht afgelopen is, kan men met een computer via wifi of via usb contact maken met de sequoia om de foto's te downloaden. Zoals eerder vermeld, zullen er op elk tijdstip 5 foto's ter beschikking zijn. Om deze foto's te verwerken, wordt gebruik gemaakt van aangepaste software geleverd door bijvoorbeeld MicaSense ATLAS, PIX4Dmapper, Agisoft en AIRINOV. Deze software kan gebruikt worden om gewasindices uit te rekenen. Vervolgens wordt van de verschillende foto's één geheel gemaakt of gestitched, waardoor de landbouwer een volledig overzicht heeft over zijn perceel en het geheel overzichtelijk blijft (Parrot, 2017b).

Verder wordt ook de mogelijkheid geboden om deze software te koppelen aan andere software die de behandeling van het perceel verzorgt. Zo heeft men de optie om plaatsspecifieke behandelingen uit te voeren zoals variabele bemesting.

d) Greenseeker

Greenseeker, ontwikkeld door Trimble, is een detectiesysteem bestaande uit verschillende identieke sensoren aan elkaar gekoppeld. Dit is nodig om een voldoende grootte werkbreedte te kunnen opmeten. Hierbij meten de verschillende sensoren de reflectiewaarden van het gewas. Dit systeem kan direct op een tractor geïnstalleerd worden die een behandeling zoals het strooien van kunstmest uitvoert. Zo wordt direct na opmeten variabel bemest. Greenseeker sensoren zijn uitgerust met een lichtbron waardoor de sensor dag en nacht kan werken.

Greenseeker meet de waarden van het gewas in real time zodat een stikstofbemesting kan uitgevoerd worden. Dit gebeurt via een algoritme gebaseerd op NDVI, parameters van het veld en verhoudingen. Zo kan de bemesting direct na het meten uitgevoerd worden en verschijnen de parameters ook op het display in de tractorcabine. Om een NDVI te berekenen, stuurt de Greenseeker licht uit met twee specifieke gebieden: 550-700 nm en NIR 700-1300 nm en vangt het weerkaatste licht vervolgens terug op (Govaerts & Verhulst, 2010). Deze twee specifieke golflengtes liggen in het NIR en het groen-rood gebied. Waardoor de NDVI maar ook de GRVI kan berekend worden. De combinatie van deze twee indexen bepaalt vervolgens de toegelaten bemesting. Om de invloed van de bodem te verwaarlozen, bij niet dicht gegroeid gewas, wordt ook OSAVI berekend.

Er bestaan ondertussen al verschillende modellen op de markt. Zo is Greenseeker RT100 en de volgende generatie Greenseeker RT200 ontwikkeld. Deze modellen hebben directe toepassing op de trekker en hiervan wordt meestal gebruik gemaakt bij variabele bemesting. De verschillende sensoren worden op een arm gemonteerd zodat deze de volledige werkbreedte kunnen meten. De Greenseeker RT100 is gekoppeld aan een PDA en de sensor heeft een werkbreedte van 61 cm bij een hoogte van 81 cm tot 122 cm. De volgende generatie Greenseeker, de RT200, meet de NDVI door zich over het veld te bewegen, meestal gemonteerd op een trekker. Een software pakket gebruikt de gecollecteerde data om mappen te maken die de gebruiker een idee geven over de toestand van het veld. Zo kan in combinatie met andere meetsensoren het nutriëntengehalte, gezondheid van het gewas, opbrengstpotentieel, en stress gemeten worden en kunnen ziektes en plagen in kaart gebracht worden. Door regelmatige metingen kan ook het groeipatroon van het gewas in kaart gebracht worden. Dit zorgt ervoor dat bemesting en chemische toepassingen direct na meting van de Greenseeker RT200 kunnen toegepast worden. De sensor die hier op een hoogte tussen 0,7 m en 1,2 m geplaatst wordt heeft een werkbreedte van 0,6 m tot 1,6 m. De informatie van verschillende sensoren worden via een CANbus overgebracht naar de centrale interface in de trekker die vervolgens de informatie doorgeeft aan een VRA. De informatie over het perceel kan ook geladen worden op een PDA. Trimble heeft ook een handheld version. Deze versie is één sensor met computer en display die in een handpalm past. Zo kan de landbouwer directe metingen doen op het veld en kan de NDVI direct weergegeven worden op de display (Trimble, 2017).

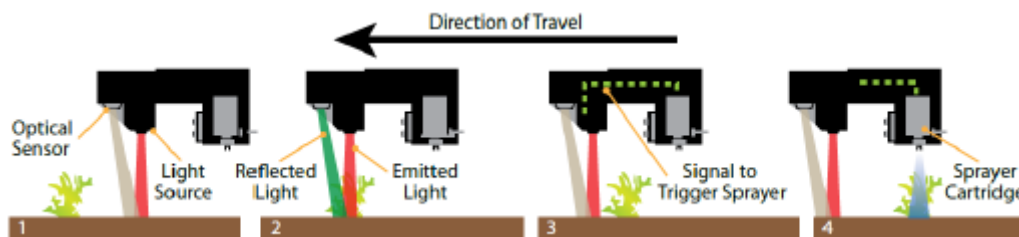
De fabrikant raadt aan om de Greenseeker standaard te installeren bij iedere behandeling van het gewas, omdat de Greenseeker naast de behoefte aan stikstof ook de toestand van het gewas bijhoudt. Zo kan je als landbouwer het perceel opvolgen in termen van groei en actieve biomassa.



Figuur 38 Greenseeker geïnstalleerd op tractor (Trimble, 2017).

e) Weedseeker

WeedSeeker, ontwikkeld door Trimble, is een detectiesysteem voor onkruid uitgerust met een lichtbron en reflectiecamera. Door de absorptie van NIR en groen licht te meten bepaalt de WeedSeeker de aanwezigheid van chlorofyl. Hierdoor kan een onderscheid gemaakt worden tussen een begroeide en een naakte bodem. WeedSeeker is wel niet in staat om verschillende plantensoorten te herkennen. Daarom is het noodzakelijk om vooral tussen de gewasrijen te werken en dit met nodige kappen en driftreductiemaatregelen zodat de spuitvloeistof niet op het gewas komt (Trimble, 2017).



Figuur 39 Werkingsprincipe van Weedseeker toegepast met VRA (Trimble, 2017)

f) CropSpec

De CropSpec is een multispectrale camera geleverd door TopCon. Deze sensoren maken zoals de Greenseeker gebruik van twee banden in het spectrum 730-740 nm (Red edge) en 800-810 nm (NIR) om de verschillende parameters als NDVI en NDRE te berekenen over de gehele werkbreedte van de behandeling. Het grote verschil met Greenseeker is dat de sensor op het dak van de trekker geïnstalleerd wordt. Zo zit deze veiliger gemonteerd en is ze niet storend voor de gebruiker. Ook heeft men zo veel minder sensoren nodig, waardoor de kostprijs gedrukt wordt. Een nadeel dat hierdoor opduikt is de verminderde resolutie door de grote werkbreedte. Zoals Greenseeker kan ze gekoppeld worden aan andere toepassingen ontwikkeld door TopCon en is ze geschikt voor VRA (TOPCON, 2016).



Figuur 40 CropSec gemonteerd op tractor (TOPCON, 2016)

g) Yara N-sensor

Yara N-sensor is ontwikkeld door Yara International en heeft als doel een stikstofadvies te ontwikkelen met behulp van gewasreflectie. Dit toestel kan optioneel uitgerust worden met een lichtbron om gebruik mogelijk te maken in suboptimale lichtcondities. De sensor meet reflectie van RGB (550nm, 670nm en 700nm), red edge (740nm) en NIR (780nm) en wordt gemonteerd op de cabine van de trekker. Het werkgebied is afhankelijk van de afstand tussen gewas en sensor en loopt van 2 m tot 4 m. Door gebruik te maken van de NDVI of NDRE kan er een stikstof advies opgeteld worden (Zillmann et al, 2006).



Figuur 41 Afbeelding van Yara N-sensor met werkingsgebied

h) MiniVeg

MiniVeg, een sensor ontwikkeld door Fritzmeier, is geen gewasreflectiemeter zoals de reeds beschreven sensoren. Dit toestel geeft een inschatting van het chlorofylgehalte aan de hand van laser induced chlorofyl fluorescence. Als een chlorofylmolecule belicht wordt via een laser neemt deze de energie op en stuurt de molecule een deel energie terug uit aan een langere golflengte, omdat niet alle energie bruikbaar is. Dit principe noemen we fluorescentie en kunnen we meten met een optische scanner rond golflengtes 685-690 nm (Rood) en 730-740 nm (NIR). Zo is het mogelijk om het chlorofyl in kaart te brengen via indexen gebaseerd op reflectie van NIR en rood licht. Dit systeem zorgt ervoor dat interferentie van de bodem uitgesloten wordt en dat de schatting van het

N-gehalte niet afhankelijk is van de hoeveelheid biomassa. Het grote nadeel van dit systeem is dat het blad zich in het donker moet bevinden en dit is niet mogelijk bij on-the-go sensing. Omwille van deze reden is het systeem van de markt gehaald in 2010 (Ros & Bussink, 2012; Tremblay et al, 2012).

3.1.3 Ultrasoonsensoren en lasersensoren

Ultrasoonsensoren en lasersensoren meten de afstand naar een bepaald voorwerp. Ultrasoonsensoren of radars maken gebruik van het doblereffect: hierbij wordt een geluidsgolf uitgezonden met een gekende golflengte, deze geluidsgolf wordt weerkaatst door een obstakel en keert terug. Door de tijd die de geluidsgolf onderweg was te meten en dit in rekening te brengen met de golflengte en de fase kan de afgelede afstand bepaald worden en dus ook de afstand tot het obstakel. Lasersensoren dit hetzelfde maar dit met een laserstraal. In tegenstelling van een ultrasoonsonor penetreert de laserstraal wel het planten materiaal. Zo is het mogelijk om doorheen de kruin van bomen de onderliggende plantengroei te herkennen. Verder worden deze sensoren vaak gebruikt in de transportindustrie om de afstand tot de voorligger te bepalen en zich hieraan aan te passen. In de landbouw kennen deze sensoren vooral toepassingen op de spuitboom van een spuittoestel. Hier worden ze gebruikt om de hoogte van de spuitboom tot de grond te bepalen, tot 40 keer per seconde. Zo blijft de spuitboomhoogte altijd gecorrigeerd aan de grond zelfs aan hoge snelheden op oneffen terrein. Een andere toepassing van deze sensoren is het in kaart brengen van de vorm van de planten (Grisso et al, 2011).

Een voorbeeld van een ultrasoon-sensor is de light detecting and ranging of LiDAR-sensor. Deze sensor stuurt een lichtgolf uit en vangt deze terug wanneer deze weerkaatst wordt. Door het tijdsverschil kan de LiDAR-sensor de afstand bepalen tot het obstakel of een ongewenste plant in een rij (Guyonneau et al, 2017). Waardoor sensor wordt vaak gebruikt in mechanische onkruidbestrijding. Een ander voorbeeld is het gebruik van LiDAR of Radar voor remote sensing van de plantengroei en ontwikkeling. Zo kan door montage op een drone of zelfs vliegtuig hele gebieden in kaart gebracht worden. Waarbij LiDAR gedetailleerder is dan RADAR maar een hogere kostprijs heeft waardoor het gebruik beperkt is.

3.1.3.1 Thermale sensoren

Thermale eigenschappen van planten zijn afhankelijk van hun structuur en samenstelling. Zo zijn de thermische eigenschappen zeer afhankelijk van het gehalte aan water in de plant, wat kan bepaald worden aan de hand van infrarood beelden. Zo worden ze vaak gebruikt in boomkwekerijen, planning en inspectie van irrigatiesystemen, alsook voor het detecteren van verzilting, detectie van pathogenen en ziektes in planten, opbrengstschatting en evaluatie van de vruchtbaarheid (WorksWell, 2016).

3.1.3.2 Opbrengstsensoren

Deze sensoren meten de opbrengst van geoogste gewassen en brengen het vochtgehalte van het gewas in kaart terwijl de landbouwer aan het oogsten is. Dit kan gecombineerd worden met een

automatische sturing voor kaarsrechte werkgangen zodat een optimaal gebruik van de oogstmachine mogelijk is. In het gamma van Trimble is een display gemaakt: FmX display die al deze toepassingen beschikbaar maakt in de oogstmachine. De informatie wordt vervolgens opgeslagen en doorgestuurd naar een pc. Zo kan de landbouwer zijn opbrengsten digitaal in kaart brengen en de volgende teelt hierop bijsturen via VRA. Met GeoYield is het zelfs mogelijk om opbrengstmetingen uit te voeren van knol-, bol- en wortelgewassen (Agrometius, 2017). De meeste opbrengstsenoren zijn volumetrisch en graviometrisch maar in enkele toepassingen wordt ook gebruik gemaakt van NIR-sensoren. Als bijkomend voordeel hebben deze sensoren de mogelijkheid om de samenstelling van het gewas te bepalen zoals de Harvestlab ontwikkeld door John Deere.

3.1.4 Bodem: monitoren van bodemparameters

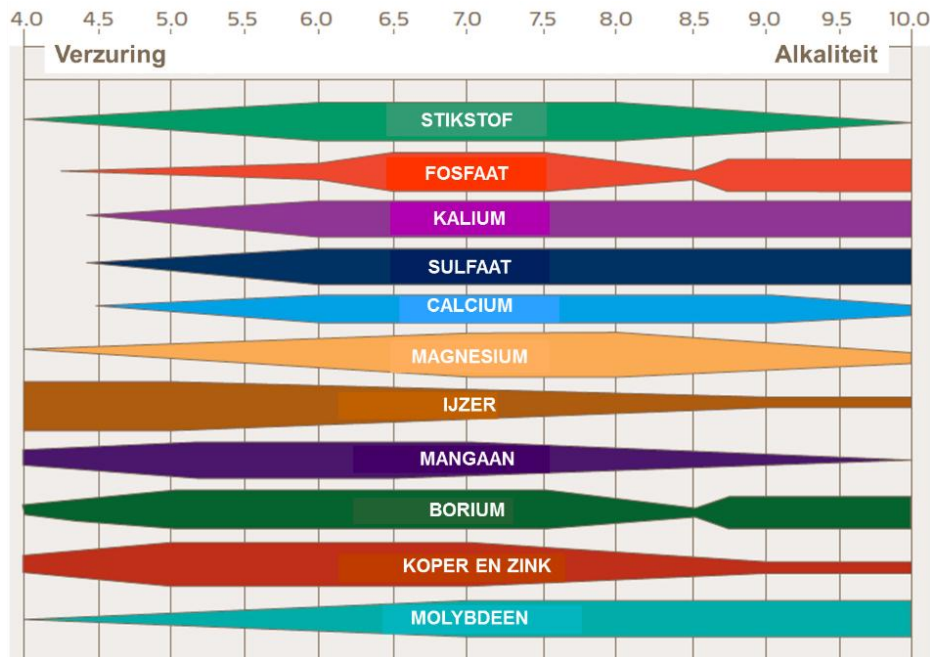
3.1.4.1 *Achtergrondinformatie en theoretische begrippen*

Zuurtegraad

De zuurtegraad of pH van de bodem wordt bepaald door het meten van de mate waarin vrije H^+ (waterstof) ionen voorkomen. De geïoniseerde H-ionen staan in evenwicht met de geabsorbeerde niet-geïoniseerde H-ionen. H-ionen kunnen geabsorbeerd worden door complexen in de bodem door uitwisseling van andere elementen. Deze elementen kunnen dan opgenomen worden door planten en/of verdwijnen uit de bodem. Maar hoe meer elementen er uitgewisseld worden, hoe moeilijker het volgende element vrij komt van het bodemcomplex (McLean, 1982). Het toenemen van de concentratie H-ionen en dus het lager worden van de pH wordt verzuring genoemd. Zo heeft verzuring een directe invloed op de beschikbaarheid van elementen in de bodem. De effecten kunnen onderverdeeld worden in drie hoofdcategorieën.

- Beschikbaarheid van nutriënten en van toxische elementen

Lage pH-waarden zijn gunstig voor verwerking van mineralen waarbij verschillende ionen vrijkomen zoals K, Mg, Ca, Zn, Cu en Al. Verder is de oplosbaarheid van de meeste zouten, zoals carbonaten, fosfaten en sulfaten groter bij lage pH-waarden. Het vrijkomen van Al in verschillende vormen uit kleimineralen hangt eveneens in grote mate af van de pH. Aluminium wordt door kleimineralen geadsorbeerd in de vorm van $Al(OH)_2^+$. De adsorptie van Al wordt geringer bij dalende pH, zodat meer oplosbaar Al in zure bodem terechtkomt. Bij hogere pH (6,5-7) daalt de concentratie van oplosbaar Al zeer sterk. Aangezien oplosbaar Al zeer fytotoxisch is, dienen gronden met een hoog kleigehalte een pH te hebben die groter is dan 6,5. Deze betrekkingen tonen aan dat de activiteiten van kationen recht evenredig zijn met de H^+ -activiteit, terwijl de activiteit van anionen omgekeerd evenredig is. Algemeen kan men dus stellen dat de concentratie van spoelementen welke als kation voorkomen toeneemt met dalende pH, dus bij zuurder worden van de grond, terwijl de concentratie van spoelementen welke als anion voorkomen, vnl. molybdeen, gaat toenemen bij stijgende pH, dus als de grond meer alkalisch wordt (Baert, 2016b).



Figuur 42 Beschikbaarheid van elementen volgens pH van de bodem (Baert, 2016b)

- Biologische activiteit in de bodem

Ieder micro-organisme in de bodem heeft een voorkeur voor een bepaald pH-gebied. Zo zal het ene organisme vaker voorkomen bij een lage pH dan bij een hoge pH. Dit kan een schommeling veroorzaken in mineralisatie van organische stof, luchtstikstofbinding, nitrificatie, voorkomen van mycorrhizia en regenwormactiviteit (Baert, 2016b).

- Structuur van de bodem

Bij verlaging van de pH worden aan bodemcomplexen H-ionen gebonden. De absorptiecomplexen worden dan volledig volzet door H-ionen in plaats van andere elementen. Wanneer men Ca^{2+} in de bodem brengt, neemt deze terug de plaats in van H-ionen. Dit komt omdat de tweewaardige Ca ionen een groter bindingsvermogen hebben dan eenwaardige H-ionen. Dit houdt structuurbederf tegen.

Verzuring van de bodem kan tegengewerkt worden door bekalking. De nodige bekalking wordt bepaald door een meting van de hoeveelheid base die nodig is om een bodemonmonster met lage pH neutraal te maken (Baert, 2016b).

Organische stof

Na het telen van bepaalde gewassen blijft er plantenmateriaal achter op de velden. Ook wordt er bij dierlijke bemesting organisch materiaal op de akkers gebracht. Dit organische materiaal kan in de bodem fungeren als een groesubstraat voor schimmels en bacteriën (micro-organismen). Deze breken het materiaal af, verteren het, of zetten het om tot een restproduct. Dit restproduct zit vol voedingsstoffen voor de plant en wordt humus genoemd (Baert, 2016b).

Het gehalte aan organisch materiaal in de bodem heeft een zeer sterke invloed op het biologische leven van de bodem en dus de beschikbaarheid van nutriënten. Een laag gehalte aan organische stof zal dus resulteren in een verminderde groei van de plant en dus lagere opbrengst. Verder kan het organische materiaal werken als een soort buffer voor schommelingen in pH. Dit verklaart waarom een hoog gehalte aan organische stof zorgt voor een beter bodemstructuur. Door deze vele complexe processen is het verhogen aan organische stof een werk van lange adem. Wanneer je het organische stofgehalte in de bodem wilt verhogen moet je vaak een bemestingsplan opstellen voor een 10-tal jaar. In tropische regenwouden zijn de effecten van organische stof vaak het meest zichtbaar. De bodems van deze wouden zijn vaak jarenlang onaangeraakt en bevatten dus enkel nutriënten afkomstig van de vegetatie die erop groeit. Wanneer men deze wouden afbrandt om meer landbouwgrond ter beschikking te hebben, zorgen de as en plantenresten voor een hoge organische stofgehalte. Maar na enkele jaren is deze bron volledig uitgeput en de bodem onvruchtbaar (NATURE, 1994).

Elektrische geleidbaarheid van de bodem

De bodem bestaat uit veel verschillende chemische elementen. Deze elementen komen vaak voor als ionen en kationen en dragen een elektrische lading. Wanneer we deze ladingen bestuderen, komen we meer te weten over het vochtgehalte, zoutgehalte, bovengronddiepte en klei-inhoud van de bodem (Sudduth et al, 2001).

In de bodem vinden we drie verschillende zones van water terug. De eerste zone is het grondwater, dit is een wateroppervlak in de bodem dat zich horizontaal voortzet. Deze grenslijn met bovenliggende zones noemt men een grondwatertafel of grondwaterspiegel. Typisch aan deze laag is dat deze helemaal gevuld is met water, waardoor er geen lucht aanwezig is. De zone net boven de grondwatertafel is de capillaire zone. Deze zone ontstaat door het omhoog stijgen van water door capillaire krachten afkomstig van de structuur van de bodem. Naar mate het water stijgt in de capillaire tunnels neemt het luchtgehalte af. Hierdoor ontstaan verschillende delen: een gesloten en open capillaire zone. De bovenste zone is de hangwaterzone. Deze zone ligt net boven de capillaire zone. Het water hierin aanwezig is afkomstig door het blijven plakken van hemelwater in de kleinste poriën bij regenval. Dit water noemt men hang- of kleefwater. In deze laag is er veel lucht aanwezig wat het microbieel leven bevordert. Om het watergehalte uit te drukken maakt men vaak gebruik van pF-waarde. De pF-waarde is een methode om waterpotentiaal uit te drukken die gedefinieerd wordt door het tiendelig logaritme van de hoogte (in cm) van de waterzuil. Formule: $pF = \log(\text{drukhoogte})$ met drukhoogte = hoogte van het water in cm. Een waarde $pF=0$ duidt op een volledig verzadigde bodem, een waarde $pF=7$ wijst op ovendroge grond. Wanneer we waarde $pF=4,2$ meten, wijst dit erop dat de grond zich in het verwelkingspunt bevindt. In dit punt zullen de gewassen die op deze grond geteeld worden zichtbare effecten vertonen van een te laag watergehalte in de bodem. De pF-waarde kan ook uitgedrukt worden in een pF-curve. Deze curve toont het grafisch verband aan tussen de zuigspanning en het vochtgehalte van de grond. Dit kan ons meer leren over het totale poriënvolume maar ook over het totale (nuttig) waterbergingsvermogen en grootteverdeling van de poriën in de bodem (Baert, 2016a).

Het zoutgehalte van de bodem wordt bepaald door Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^+ en Mg^{2+} . Deze elementen vind je overal terug in de bodem. Wanneer er een teveel van deze ionen in de bodem

terug te vinden zijn noemt men dit verzouting of verzilting. In vochtige klimaten komt dit echter zelden voor, in droge klimaten waar er veel beregend wordt kan dit wel een probleem vormen. Verzilting komt vooral voor wanneer de toestroom van ionen groter is dan de afvoer. Dit kan op twee verschillende manieren veroorzaakt worden: een te grote aanvoer of een te kleine afvoer. Wanneer er geïrrigeerd wordt, wordt water met een bepaald gehalte aan ionen over het gewassen verdeeld. De hoge temperaturen zorgen ervoor dat zuiver water terug verdampt, waardoor de ionen achterblijven in de bodem. Anderzijds worden ionen afgevoerd door doorstroming van de bodem met water. Wanneer er dus te weinig neerslag valt, worden de ionen niet voldoende afgevoerd waardoor deze ook cumuleren in de bodem (Corwin & Lesch, 2003).

Een verzoute bodem heeft zichtbare negatieve invloeden op de hierop geteelde gewassen. De planten groeien trager en onvolledig. Hun bladeren zijn smaller maar dikker dan bij gewone planten. Dit komt omdat chloride zorgt voor meer celstrekking van palissade cellen. De planten zijn ook groener en sommige plantensoorten hebben een dikkere waslaag om uitdroging van de zon te voorkomen (Bernstein, 1975).

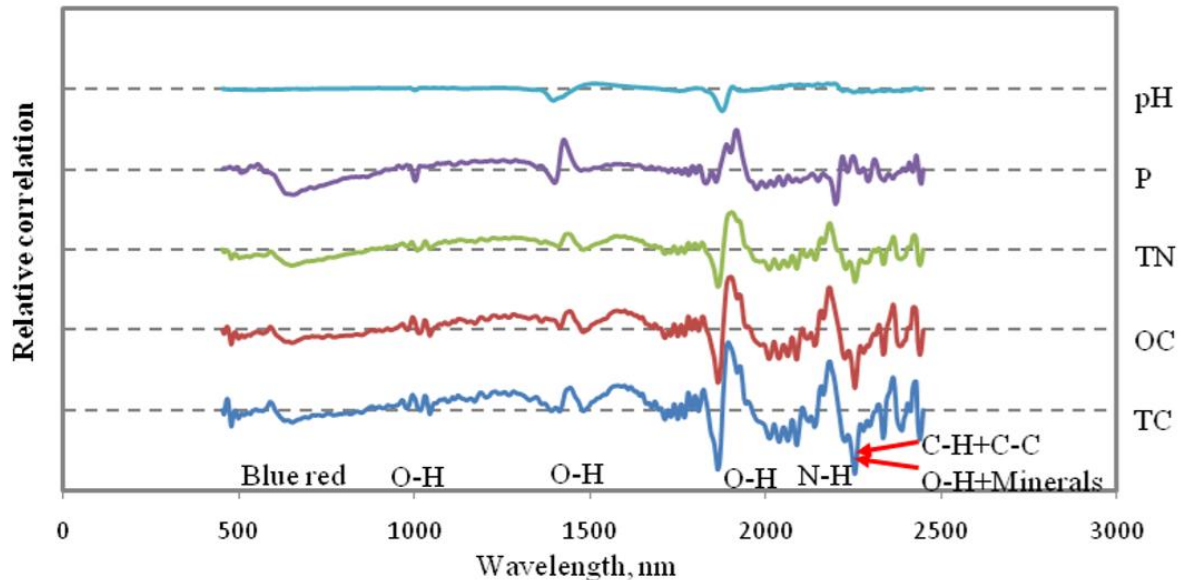
Een hoge klei-inhoud van de bodem kan de mineralisatie van het organisch materiaal belemmeren. Dit komt door fysische beperking van de micro-organismen in de kleine poriën waardoor ze minder actief en beschermd zijn tegen predatoren van de bodemfauna. Maar de klei-inhoud beschermt ook het niet -levend organisch materiaal tegen ontleding door oppervlakte adsorptie en/of uitputting in kleine poriën of bodemaggregaten. Bodems met een hoge klei-inhoud hebben dus een verminderde zuurstofinhoud wat een nadelig effect heeft op de mineralisatie (Wang et al, 2003).

3.1.4.2 Bodemsensoren

Bodemsensoren worden gebruikt om de vruchtbaarheid van de bodem te schatten dit kunnen ze op verschillende manieren. Een eerste onderscheid die gemaakt wordt zijn proximal of remote sensoren. Proximal of sensoren die dichtbij de bodem gebruikt worden komen vaak in direct contact met de bodem in plaats van op enkele meters zoals het geval is bij remote sensoren. Daarnaast kunnen de sensoren invasief of niet invasief zijn dit wil zeggen dat de sensor in de bodem gebruikt wordt of er net buiten. Vervolgens kan er nog een onderscheidt gemaakt worden tussen actieve en passieve sensoren. Waarbij actieve sensoren zelf een energiebron bezit en passieve de energie van de bodem meet. Ten laatste in de manier hoe het gebruikt wordt van belang: mobiele sensoren kunnen on-the-go toegepast worden en nemen continu waarnemingen, maar stationaire vereist stilstand van de machine zodat als voorbeeld een pin in de bodem kan dringen.

Omdat één sensor niet alle bodemcondities kan bepalen wordt vaak gebruik gemaakt van verschillende types van sensoren. Een eerste grote groep van sensoren zijn de sensoren gebaseerd op reflectie. Hierbij worden bodemeigenschappen gemeten door moleculaire, harmonische en niet-harmonische vibraties van de bodemelementen. Maar ook door diffusie van licht bij absorptie of reflectie. Wat bij ieder beval leidt tot typisch patronen in het spectrum door het watergehalte en de typische structuur van elementen. Zo zal een donkere bodem en dus een natte bodem meer licht absorberen dan een droge bodem die witter is. Maar is het bekomen spectrum nog steeds een interactie tussen de fysische en chemische eigenschappen met het licht. Na een correcte calibratie,validatie, verwijderen van ruis en normaliseren van de data kan een multifactoriële lineaire regressie opgesteld worden waarmee primaire factoren zoals organische stof, vochtigheidsgraad en

kleigehalte bepaald worden. Vervolgens kunnen secundaire factoren zoals fosfor, pH, Mg, Ca, CEC, K,... bepaald worden aan de hand van de covariaties tussen de primaire factoren zoals Figuur 43 in weergegeven. Om dit mogelijk te maken is er wel een noodzaak aan gegevens van andere sensoren en dus een multi-sensorplatform met data fusion.



Figuur 43 Specifieke spectrums voor secundaire factoren gebaseerd op primaire factoren (Mouazen A.,2018)

Naast reflectiesensoren kunnen verschillende klassen gevormd worden waarvan geofysische, gamma-ray's en chemische en organische sensors de belangrijkste zijn. Gamma-ray's maken gebruik van het radioactief verval van bodemdeeltjes om de samenstelling in te schatten. Geofysische zijn eenvoudiger en meten de geleidbaarheid van de bodem aan de hand van fysische kenmerken. Hierbij wordt elektrische geleidbaarheid, elektromagnetische inductie en de diëlektrische constante. In het eerste geval wordt er een bepaalde spanning door een bron in de bodem gebracht die gemeten wordt door een ontvanger. Het spanningsverschil tussen de twee elektroden is een maat voor de weerstand in de bodem en dus voor de geleidbaarheid. Een typisch model hiervan is een Wenner array. Diëlektrische constante is op zijn beurt een indicator voor verschillende lagen. Verschillende stoffen hebben een andere permittiviteit waardoor ze meer of minder energie kunnen opslaan in magnetische velden. Hierbij wordt een elektromagnetische golf uitgestuurd en na weerkaatsing terug opgevangen. Aan de hand van het verschil in tijd en amplitude kan een schatting gemaakt worden hoe diep de kleilaag gelegen is. Deze techniek kent meer toepassingen in het meten van ijsdiktes in landen waar ijswegen voorkomen zoals Canada. De laatste geofysische methode is elektromagnetische inductie. De opbouw bestaat uit twee spoelen. De eerste spoel produceert een magnetisch veld waardoor bodemdeeltjes beïnvloed worden. Deze bodemdeeltjes worden geïnduceerd en sturen op hun beurt elektromagnetische golven uit afhankelijk van hun structuur en samenstelling. Deze golven worden ontvangen en opgemeten door een tweede spoel. De bekomen waarde is dan terug een maat voor de geleidbaarheid van de bodem. Bij alle methodes zijn de resultaten sterk beïnvloed door de omstandigheden. Zo kan wat meer of minder vochtigheid een ander resultaat bekomen. Daarom is het belangrijk deze waarden op een juiste manier te interpreteren. Ze worden best omgezet naar een schaal van laag naar hoog. Waarbij hoge waarden een goede vruchtbaarheid betekenen, maar ze kunnen niet vergeleken worden. Een ander algemeen

punt is de diepte die opgemeten wordt. Hoe dieper gemeten wordt, hoe kleiner de resolutie wordt en hoe groter de onnauwkeurigheid. Daarom worden meestal verschillende ontvangers geplaatst waardoor op verschillende dieptes meetwaarden zijn die met elkaar vergeleken kunnen worden. In Tabel 6 worden de verschillende voor- en nadelen van de verschillende systemen opgesomd.

Tabel 6 Overzicht van voor- en nadelen van geofysische sensoren

Elektrische conductiviteit	Voordelen	Niet gevoelig voor externe bronnen zoals hoogspanning,...	
		Niet beïnvloed door kleine metalen voorwerpen in de bodem	
		Beelden geven meer informatie over laagopbouw van de bodem	
		Metingen kunnen vergeleken worden met volgende metingen	
	Robust, simpel en vertrouwbare technologie		
	Nadelen	Één laag of groot voorwerp kan dominant zijn en een verkeerd beeld creëren	
		Direct gesloten contact met de bodem noodzakelijk	
Werkt niet onder extreem droog of natte condities			
Diëlektrische constante	Nadelen	Omvang van het toestel bij manuele metingen	
		Niet mogelijk om kleine metalen voorwerpen te detecteren	
		Gebruik is zeer beperkt en niet bruikbaar op zware klei, ruwe terreinen, hoog oppervlaktewaterspiegel,...	
		Om data te verwerken is er veel kennis nodig	
		Zeer gevoelig voor externe invloeden zoals GSM, GSM masten hoogspanning,...	
Elektromagnetische inductie	Voordelen	Verkregen data heeft een groot volume	
		Enigste systeem die elektrische geleidbaarheid en magnetische susceptibiliteit meet	
		Contact met de bodem is niet verplicht	
	Nadelen	Kan op vele bodemtypes gebruikt worden	
		Gevoelig voor externe magnetische velden	
		Stabiliteit van de meetresultaten is onvoldoende; nood aan veel kalibraties	
		Sterk beïnvloed door metalen voorwerpen	

Hiernaar kunnen mechanische resistentie sensors of penetrometers gebruikt worden om de resistentie van de bodem te meten. Hierbij wordt een pin die verbonden is met een load cell in de grond geduwd en krachten gemeten. Vaak kan in de pin ook een glasvezel verborgen zitten zodat het mogelijk is een spectrum van de bodem te nemen. Belangrijk bij penetrometers is de bodemvochtigheid. Want de weerstand die verkregen wordt is afhankelijk van het aanwezig bodemvocht.

Het laatste type sensor is de chemische en organische sensoren. Deze sensoren zijn kleine veld laboratoria. Hierbij is vaak een laboratoriumtechniek geautomatiseerd en op een verplaatsbaar werktuig gebracht. Hierdoor kan on-the-go data gemeten worden van het perceel zoals pH. Dit

vertelt meer over de bodem dan de elektrische geleidbaarheid. Vaak wordt met een bodemsensor het perceel in kaart gebracht om vervolgens op lagere waarden een bodemstaal te nemen en te onderzoeken. Op deze wijze is het dus mogelijk te zoeken naar de oorzaak van de lage waarde.

In de volgende puntjes worden enkele toepassingen besproken:

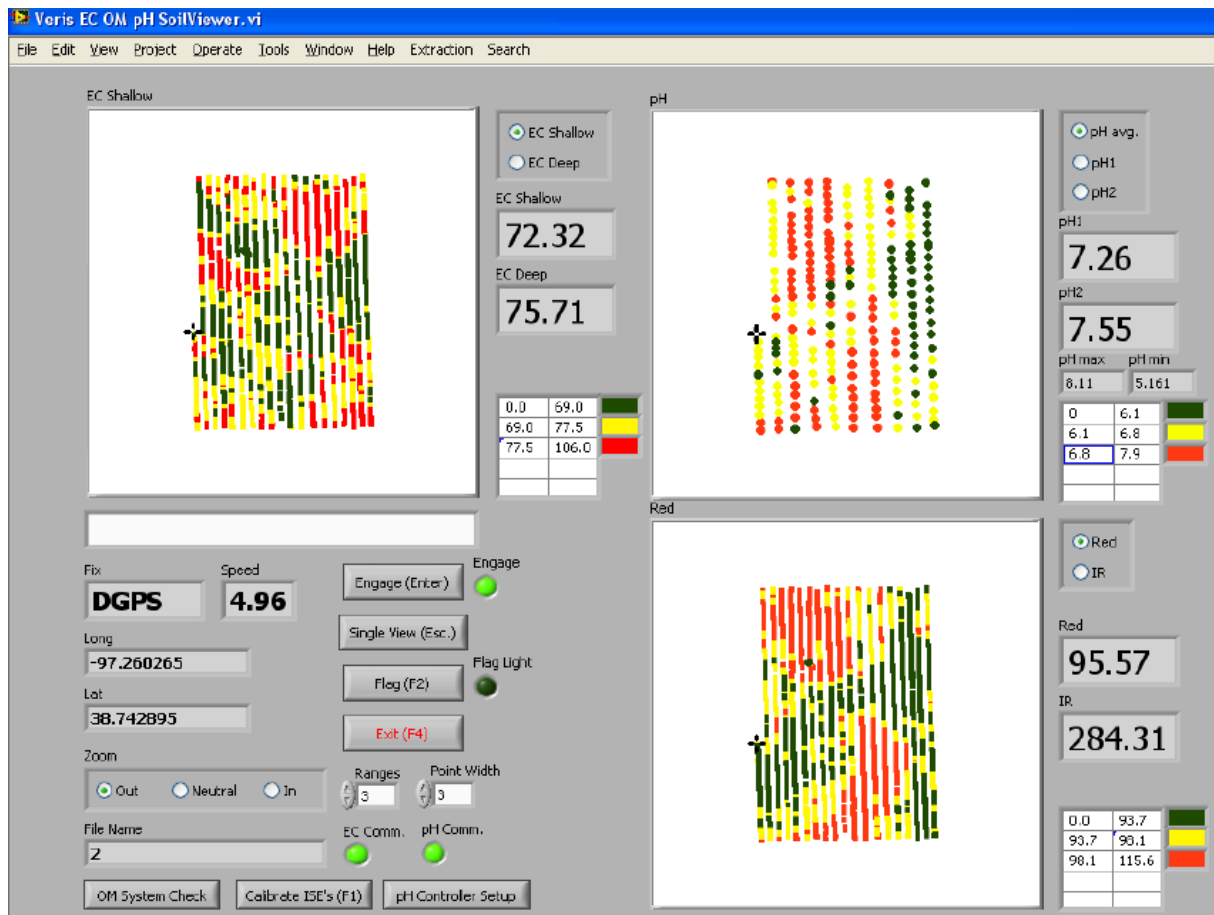
Veris MSP3 bodemscanner

Veris MSP3 is een on-the-go bodemscanner ontwikkeld uit door Veris Technologies en meet verschillende bodemparameters zoals pH, organisch materiaal en geleidbaarheid. De bodemscanner bestaat uit een platform met daarop verschillende sensoren: optische, pH- en elektrische geleidbaarheidssensor. De optische sensor schetst een kaart van de ondergrond en plantenresten, wat ons meer leert over de aanwezige organische stof. Met behulp van schijven die de plantenresten doorsnijden wordt op 2,5 cm en 7,5 cm diepte elektromagnetische lichtstralen van golflengtes 660 nm (Rood licht) en 940 nm (NIR) uitgezonden. Het weerkaatste licht wordt vervolgens terug opgevangen en in kaart gebracht (Schans & Berg, 2013). Tegelijkertijd wordt de pH van de bodem continu gemeten. Dit gebeurt door automatische staalname van de bodem. Dat staal wordt vervolgens tegen een ion-selectieve pH elektrodes gedrukt gedurende 7-20 seconden zodat de pH bepaald kan worden. Om correcte metingen uit te voeren wordt na iedere meting de elektrode afgespoeld met water. De elektrische geleidbaarheidssensor werkt door middel van schijven die onder een bepaalde spanning staan. Deze spanning gaat via de grond naar een ander paar schijven, wat mogelijk maakt om het potentiaalverschil te meten. Doordat kleinere bodemdeeltjes (klei) beter geleiden dan grotere (zand) en de elektrische geleidbaarheid op twee dieptes van 0-30 cm en 0-90 cm gemeten wordt, bekomt men een gedetailleerde kaart van de bodem (Kweon et al, 2012).



Figuur 44 voorstelling van de Veris MSP3 bodemscanner om rijdend pH, elektrische geleidbaarheid en het gehalte aan organisch materiaal te meten (Kweon et al, 2012)

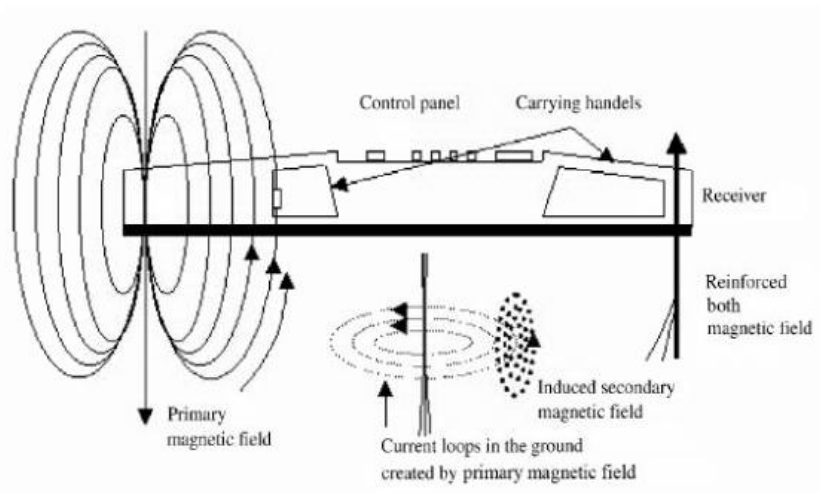
Naast het meten van de verschillende parameters wordt ook een topografische kaart opgesteld en bij iedere meting een locatie opgeslagen. Al deze informatie wordt vervolgens overgebracht naar een computer. Op deze computer kan Veris SoilViewer geïnstalleerd worden. De software is noodzakelijk om taakkaarten op te stellen om variabele toepassingen mogelijk te maken.



Figuur 45 Stemaafdruk van Veris SoilViewer software met kaarten van elektrische geleidbaarheid (EC), pH en rood licht reflectie (RED) (Kweon et al, 2012)

EM-38 bodemscanner

EM-38 is een sensor voor elektrische geleidbaarheid ontwikkeld door Geonics in Canada. Door middel van elektromagnetische inductie wordt het kleigehalte, oplosbare zouten, mineralen, waterinhoud en bodemtemperatuur gekwantificeerd. Dit gebeurt aan de hand van een plaat die over de bodem sleept, deze plaat stuurt een elektrische lading uit die terug opgevangen wordt door een sensor. Deze sensor bepaalt vervolgens het verschil in inductie en berekend zo de factoren (Figuur 46). Aan de hand van deze factoren wordt een vruchtbaarheidsmodel van de bodem opgesteld. Het apparaat bestaat uit verschillende transmitters en sensoren die een elektrisch veld uitsturen en meten op verschillende dieptes. EM-38 kan getrokken worden in een slede door een mens maar wordt ook gemonteerd aan een voertuig dat zich over het perceel verplaatst (Brevik et al, 2006; Lukas et al, 2009).

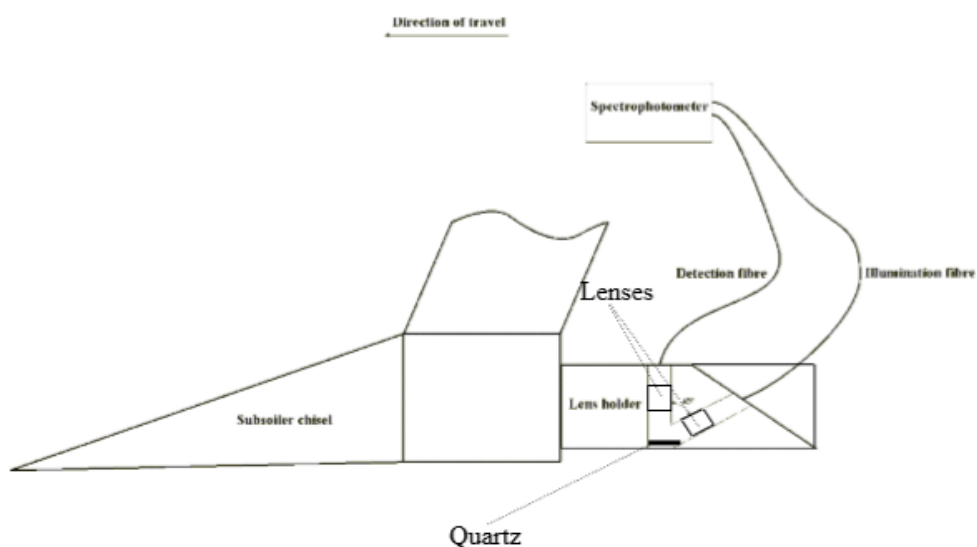


Figuur 46 Schematische tekening van de werking van EM-38 bodemscanner (Lukas et al, 2009)

Dit systeem heeft wel als nadeel dat het zeer instabiel is. Vaak worden hier heel wat afwijkingen verkregen doordat de inductie temperatuur gevoelig is en bij gebruik vaak drift optreedt . Vandaar eist dit systeem veel kalibratie en wordt het minder gebruikt.

Online Multi-sensor platform

Deze sensor wordt gebruikt om organisch koolstof, vochtigheid, totaal stikstofgehalte, kleigehalte en hoeveelheid organisch materiaal te meten in de bodem. Één ijzeren tand wordt op een zelf gekozen diepte van 5 tot 50cm gebracht. Deze tand staat in verbinding met een gewichtscel die de weerstand van de bodem meet. Een spectrometer staat via glasvezelkabels in verbinding met twee lenzen aan de achterkant van de tand zoals op Figuur 47. Hierdoor kan het licht afkomstig van de bodem via de glasvezelkabels naar de spectrometer en de reflectiewaarden opgemeten worden (Mouazen, Alhwaimel et al., 2014).



Figuur 47 Schematische tekening van een online Multi-sensor (Mouazen, Alhwaimel et al., 2014)

De gegevens afkomstig van beide sensoren worden samen met hun positie geregistreerd en kunnen later gebruikt worden om een taakkaart op te stellen. Maar dit systeem biedt ook de mogelijkheid om on-the-go gebruikt te worden. Hierbij kan deze bijvoorbeeld voor een zaaimachine geplaatst worden en is variabele toepassing mogelijk.

3.1.5 Lucht: monitoren van luchtcondities

3.1.5.1 *Achtergrondinformatie*

3.1.5.2 *Klimaatsensoren*

Voor een goede grondbewerking is het noodzakelijk dat de grond niet te vochtig of te droog is. Zo moet de landbouwer rekening houden met de (verwachte) weersomstandigheden. Zo is het uit den boze om net voor een regenbui of bij een te natte bodem de grond te verfijnen om een zaaibed klaar te maken. Maar ook het toepassen van pesticiden vergt vaak gepaste weersomstandigheden. Ze hebben enige tijd nodig om in werking te treden. Wanneer het net na de behandeling begint te regenen, is de kans groot dat het product van de planten spoelt en in het oppervlaktewater terecht komt, hetgeen te vermijden is. Zo zijn er op de markt verschillende weerstations beschikbaar die met sensoren objectieve metingen op een door de landbouwer gekozen interval uitvoeren. Deze data wordt vervolgens naar een server gestuurd waar geavanceerde modeladviezen gegenereerd worden. Deze adviezen worden ter beschikking gesteld van de landbouwer. Maar de landbouwer wordt ook gewaarschuwd bij proefveldjese veranderingen, zodat hij tijdig de juiste beslissingen kan nemen en optimaal op de situatie kan inspelen.

Geobas weerstation is een weerstation verdeeld door Agrometius die een nauwkeurige meting van neerslag, temperatuur, wind, relatieve luchtvochtigheid, bladnat en koppeling met nog andere sensoren toelaat. Het grote voordeel van deze systemen is dat het weersmodel opgemaakt wordt op perceelsniveau in plaats van op gebiedsniveau.

Geobas insectenval biedt vervolgens ook nog een insectenval aan die met vier digitale camera's automatisch insecten herkent en telt.

3.2 Reacting Technologies

Na het meten van de verschillende parameters is het vanzelfsprekend dat deze gekoppeld worden aan een bewerking. Deze bewerkingen hebben een bepaalde werkbreedte wat leidt tot werken in stroken of grid's waar de bewerking kan aangepast worden tijdens het rijden en naar de noden van het perceel. Hierna wordt een overzicht van verschillende praktijktoepassingen gegeven.

3.2.1 Variable rate application

Variable rate application (VRA) is het variabel toepassen van grondstoffen of chemische producten in de landbouw (Zhang & Pierce, 2013). Toepassingstechnologie wordt Variable Rate Technology (VRT) genoemd. Het principe rust op het meer of minder toepassen van een behandeling zoals zaaien, bemesten, bekalken en zelfs de intensiteit van de stoppelbewerking met als doel het opbrengstpotentieel zo hoog mogelijk te houden, al dan niet met gps-sturing.

Om VRA toe te kunnen passen heeft men nood aan informatie over het perceel. Deze informatie kan op verschillende manieren ter beschikking gesteld zijn:

- Online mapping

Men spreekt van een online map wanneer de landbouwer VRA toepast die direct bestuurd wordt door een sensing technologie. Met andere woorden meten sensoren gewasindicatoren of bodemeigenschappen op en verwerken deze direct tot een kaart die de bewerking stuurt.

- Offline mapping

Een offline map is een taakkaart die vooraf opgesteld is. Hier deelt de landbouwer zijn veld op aan de hand van de voorgeschiedenis, metingen van sensoren op de tractor bij vorige bewerkingen, opbrengstmetingen van vorige jaren, bodemstalen, drone- en satellietbeelden.

- Combinatie tussen online en offline mapping

De taakkaart wordt opgesteld aan de hand van metingen die vooraf plaatsvonden zoals bij offline mapping maar worden tegelijk bijgestuurd door een sensing systeem dat tijdens de bewerking het gewas waarneemt (Grisso et al, 2011).

Wanneer een taakkaart opgesteld is, is het noodzakelijk een werktuig te hebben die zijn bewerking kan aanpassen. Vaak is dit mogelijk door mechanische aandrijvingen te vervangen door elektrische of hydraulische motors en cilinders die proportioneel aangedreven worden. Verder kan aanpassing van rijsnelheid of werkhoogte zorgen voor een variabele gift. Belangrijk is dat alles correct aangedreven wordt en dus correct gestuurd wordt. Hiervoor is dus nood aan software die de volledige besturing van werktuig en trekker op zich kan nemen. Maar dit systeem moet ook zelfcorrigerend kunnen werken. Hiervoor moet het werktuig ook uitgerust worden met snelheidssensors, hoogtesensors,... om te controleren of het systeem correct werkt.

3.2.1.1 Toepassen van VRA bij zaaien en planten

Planters en zaaimachines (Figuur 48) kunnen omgebouwd worden tot een VRA door gelijkstelling van de actuele snelheid en de zaaisnelheid. Hierbij kan men kiezen om de volledige werkbreedte aan te drijven bij een traditionele zaaimachine of iedere zaai-eenheid bij een precisiezaaimachine. Voorbeeld: wanneer de tractor versnelt, versnelt ook de zaaimachine zodat de zaaidichtheid overal gelijk is. Invloeden door wielslip van de tractor worden hierdoor opgevangen.

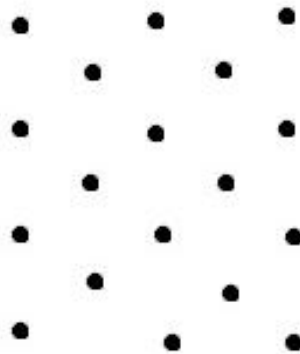


Figuur 48 Afbeelding van een pneumatische zaaimachine van het merk Kverneland met het aandrijwingswiel aangeduid met een pijl

Een traditionele zaaimachine wordt aangedreven door een wiel. Wanneer dit wiel losgekoppeld wordt van de zaaiunit kan de aandrijving overgenomen worden door een elektromotor zodat de snelheid van het rad ieder moment aangepast wordt en dus ook de dosering. De voorwaartse snelheid kan bepaald worden via radarsysteem (Figuur 49) op de zaaimachine of via ISOBUS ontvangen worden vanuit de tractor die eventueel uitgerust is met een radar of via GPS de snelheid bepaalt. Door deze koppeling kan bij een precisie-zaaimachine of -planter waar de afstand tussen de rijen en zaaien van groot belang is nog exacter afgesteld worden. Door een sturingssysteem is het mogelijk de aandrijving pas te starten wanneer er minimaal overlapping is. De zaden kunnen zelfs geschrinkt gezaaid worden zodat het gewas optimale groeiruimte ter beschikking heeft (Figuur 50). Anderzijds kunnen rijpaden aangelegd worden zodat er geen zaaizaad verloren gaat (Bullock et al, 1998).



Figuur 49 Voorstelling van een radarsysteem dat gemonteerd kan worden op een tractor (soms standaard) of werktuig (Dickey-John, 2018)



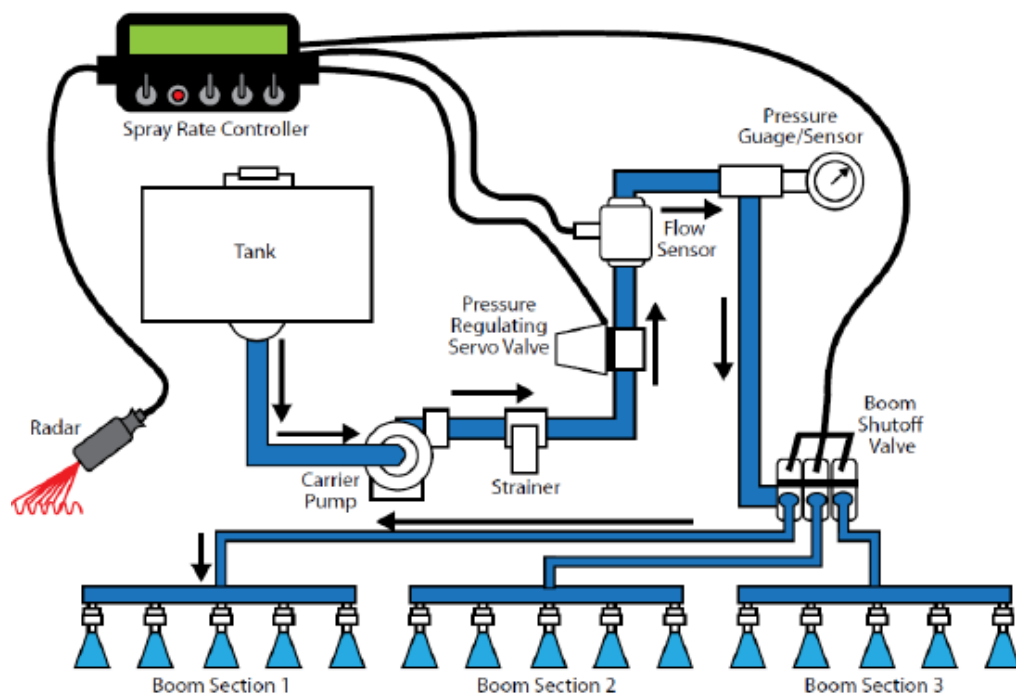
Figuur 50 Voorstelling van geschrant zaaien. De zaden liggen op maximale afstand van elkaar zodat een zo groot mogelijke groeioppervlak ter beschikking komt.

De zaaimachine wordt in sommige gevallen uitgerust met bodemsensoren die de vruchtbaarheid van de bodem bepalen. Waardoor de zaaidichtheid aangepast wordt in functie van het groeipotentieel van de bodem en beschikbaarheid van nutriënten. Zo worden op laaggeleden gebieden op het veld grondstoffen gebruikt omdat deze gebieden bij grote regenval vaak onderlopen. Een nieuwe toepassing is het verkleinen van de pootafstand in aardappelen naast rijpaden om de opbrengst te vergroten doordat de planten meer groeiruimte hebben. Maar ook het groter maken van de pootafstand bij schaduw- en droge zones om de plant meer groeiruimte ter beschikking te stellen zodanig dat de concurrentie bij deze planten kleiner is en de knollen tot normale grote kunnen groeien (Bayer Crop Science Belgium, 2017).

3.2.1.2 Chemische onkruidbestrijding

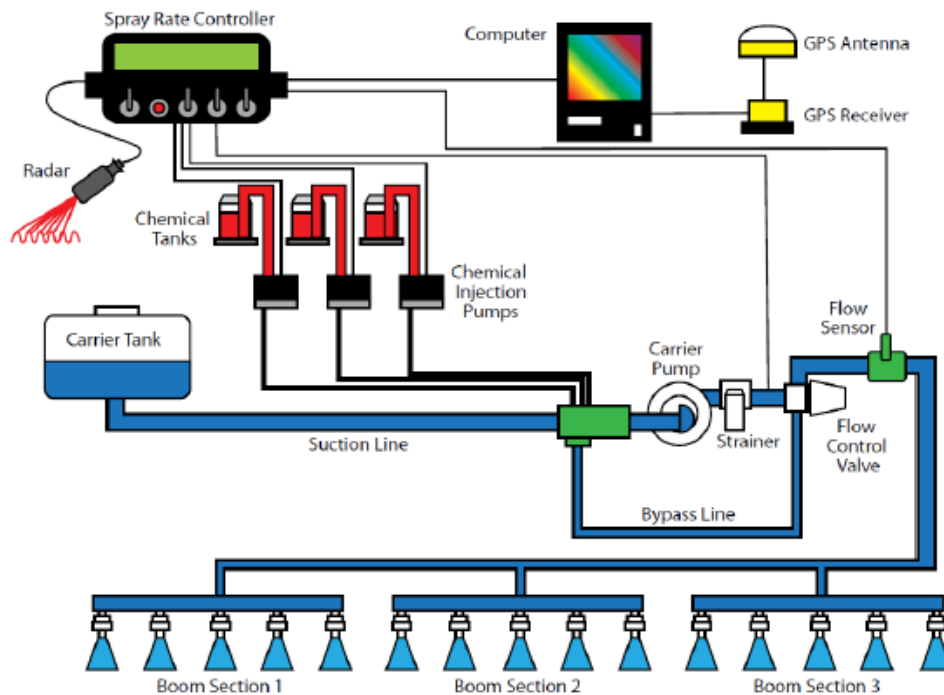
Een variabele onkruidbestrijding kent al vele toepassingen. Meestal wordt de variabele dosering elektronisch bestuurd via online of sensor-based mapping.

Een eerste manier van variabel spuiten is via een systeem gebaseerd op aanpassen van de vloeistofstroom (Figuur 51). Hier wordt via een computersysteem de druk per sectie gewijzigd. Door een flowmeter wordt de exacte hoeveel vloeistof per sectie bepaald. Door deze vloeistofstroom naar een sectie te vermeerderen wanneer men veel onkruid ziet of te verminderen wanneer men weinig onkruid ziet, wordt bespaard op chemische middelen. De nadelen van dit systeem zijn de schommelingen in druk waardoor de druppelgrootte vaak afwijkt, maar ook het eventueel voorkomen van te grote restvloeistoffen in de spuittank (Grisso et al, 2011).



Figuur 51 Chemisch bestrijdingssysteem gebaseerd op vloeistofstroom (Grisso et al, 2011)

Bij de tweede manier wil men een te grote hoeveelheid restvloeistof voorkomen. Deze restvloeistof ontstaat wanneer men op een perceel minder chemische producten nodig heeft dan verwacht, met een grote hoeveelheid restvloeistof in de spuittank als gevolg. Omdat deze restvloeistof moet verwerkt worden en dus een verspilling van chemische producten is, wordt dit beter vermeden. Daarom werd er een systeem (Figuur 52) ontwikkeld dat de chemische producten via doseerkoppen net voor bespuiten van de spuitvloeistof op de gewassen in het water mengt. De toevoeging kan gebeuren via twee systemen: gecentraliseerd en gedecentraliseerd. Het verschil tussen beide systemen is de plaats waar de actieve stoffen in het water terecht komen: bij centralized wordt voor de secties de vloeistoffen gemengd, bij decentralized gebeurt dit na de opsplitsing van secties. Bij decentralized kan de dosis per sectie eenvoudig gewijzigd worden zonder de druk of vloeistofstroom aan te passen wat leidt tot een constant spuitbeeld. Hierdoor worden enkel de chemische producten opgezogen die nodig zijn voor de behandeling. Door hier een regeling van vloeistofstroom of druk toe te passen kan een variabel spuitbeeld verkregen worden (Grisso et al, 2011; Hloben, 2007).

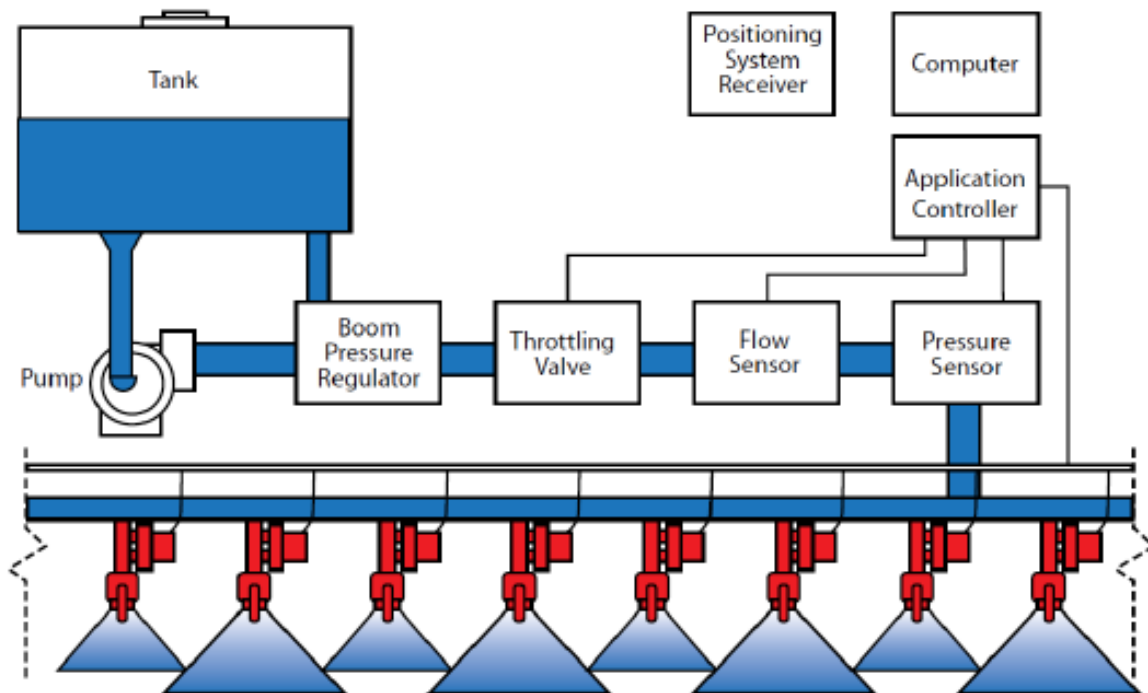


Figuur 52 Directe centralized chemische injectie systeem (Grisso et al, 2011)

Bij het eerste systeem wordt de vloeistofstroom aangepast. Dit leidt tot één groot nadeel: het wijzigen van de druk. Een te lage druk kan resulteren in een te grote druppel die teveel afwijkt van het gewenste druppelgrootte. Een te grote druppel kan van de bladeren vallen en op de grond terecht komen waar bepaalde producten geen toepassingen hebben. Anderzijds is een te kleine druppel, afkomstig van een te hoge druk, heel driftgevoelig, waardoor nabijgelegen percelen en waterlopen gecontamineerd kunnen worden.

Hierdoor werd een spuitdop-controle systeem (Figuur 53) ontwikkeld. Iedere dop spuit in principe met dezelfde druk en volume. Maar door een elektromagnetisch ventiel te monteren net voor de dop kan de spuitdop die hiervoor aangepast is (pwm-dop) voor heel korte periodes afgesloten worden. Door een pwm-dop afwisselend te openen en te sluiten bekomt men een verschillende spuihoeveelheid per dop waardoor een plaatsgerichte dosering mogelijk is. De frequentie waarmee de pwm-dop kan sluiten en terug open gaan is 10 Hz of 10 keer per seconde. De tijd om te sluiten of te openen van het ventiel is 4 ms. Daarom zal er wanneer een dop opent en terug sluit (of omgekeerd) 8 ms nodig zijn, wat leidt tot een minimale vermindering van 10 % en een maximale vermindering van 90 % van normale spuitvolume.

Eén belangrijke opmerking bij dit systeem is het feit dat gebruik van lucht ondersteunde doppen niet mogelijk is, wat kan leiden tot grotere kans op drift.



Figuur 53 Spraying nozzle control system (Grisso et al, 2011)

Sensor-based toepassingen kunnen er ook voor zorgen dat het aantal onkruidplantjes op de kaart worden aangeduid zodat deze gericht kunnen behandeld worden. Dit kan door hierboven beschreven mechanismen. De detectie van deze onkruidplanten is moeilijker. Hier moet de sensor het verschil zien tussen het gewas en onkruid.

3.2.1.3 Variabel bekalken

De pH heeft een heel belangrijke invloed op gewas. Zo kan een te lage pH de beschikbaarheid van nutriënten drastisch verlagen. Een te lage pH kan beholpen worden door een bekalking van het perceel. Maar ook hier is aanpassing in dosis wenselijk. Omdat de pH kan verschillen in hetzelfde perceel kan een over- en onderbekalking voorkomen.

Er bestaan verschillende types kalkmachines op de markt: vijzelstrooier of een centrifugaal strooier. Een vijzelstrooier (Figuur 54) maakt gebruik van een vijzel om de kalk te verdelen over de werkbreedte. Hierbij kan er ook een deel afgesloten worden zodat de werkbreedte verkleind wordt om overlapping te voorkomen. Ook kan de draaisnelheid van de vijzel gewijzigd worden, wat leidt tot een aanpassing in hoeveelheid. Aan de hand van een taakkaart kan er op verschillende delen van het perceel een andere hoeveelheid kalk gestrooid worden.



Figuur 54 Vijzelstrooier aan het werk

Een ander type dat vaak voorkomt is een centrifugaalstrooier (Figuur 55). Hierbij worden de strooischijven aangedreven door de aftakas zodat de strooier een constante werkbreedte behoudt. Bij het traditioneel systeem wordt vervolgens een band aangedreven door de wielen van de kar en wordt de dosis bepaald door een schuif langs achter aan de strooier die de hoeveelheid kalk op de band bepaalt en dus ook de hoeveelheid per hectare. Door dit laatste te besturen met een hydraulische cilinder aangestuurd door VRA-technologie kan de strooier variabel bekalken.



Figuur 55 Foto genomen van een Prolog centrifugaal strooier voor bekalken

3.2.1.4 *Variabele grondbewerking*

Om aan variabele grondbewerking te doen is er nood aan een taakkaart of een on-the-go sensor techniek die de compactie van de bodem waarneemt. Een grondbewerkingstoepassing kan zo zijn intensiviteit van inwerken vermeerderen of verminderen afhankelijk van de toestand van de bodem. Zo kan op lichtere plaatsen, weinig weerstand van de bodem, kan wat sneller gereden worden of het aantal rotaties per minuut verlaagd worden bij het klaar leggen van een zaadbed. Bij een stoppelbewerking kan eventueel een onderdeel van de machine versteld worden van diepte zodanig dat enkele tanden een diepere werking hebben en de compactie verminderd wordt.

3.2.1.5 *Variabele bemesting*

Bemesting kan gebeuren op verschillende manieren volgens het meststoftype. Bij dierlijke mest worden vaak stalmeststrooiers of mengmestverspreiders gebruikt. Bij kunstmest wordt eerder gebruik gemaakt van centrifugaalstrooiers en in mindere mate van nokkenrad-, pneumatische en pendelstrooiers.

Dierlijke mest

Een stalmeststrooier (Figuur 56) wordt gebruikt om stalmest te verspreiden over de percelen. De stalmest wordt in de laadruimte geladen en wordt via een bodemketting naar de verticale molens gebracht die het stalmest verspreiden. De werkbreedte van strooier is hier afhankelijk van de gekozen verspreiders en hun toerental. Het aantal ton per hectare wordt bepaald door de snelheid van de bodemketting. Wanneer men nu de snelheid van de bodemketting aanpast is het mogelijk een variabele bemesting uit te voeren. Zo kan de geïnstalleerde VRA-technologie een vooraf opgestelde taakkaart uitvoeren en de gift constant aanpassen. Hier is het belangrijk om de voorgeschiedenis van het perceel te kennen. Zo kan men uit vorige bemestingskaarten waarnemen waar een aangepaste gift nodig is.

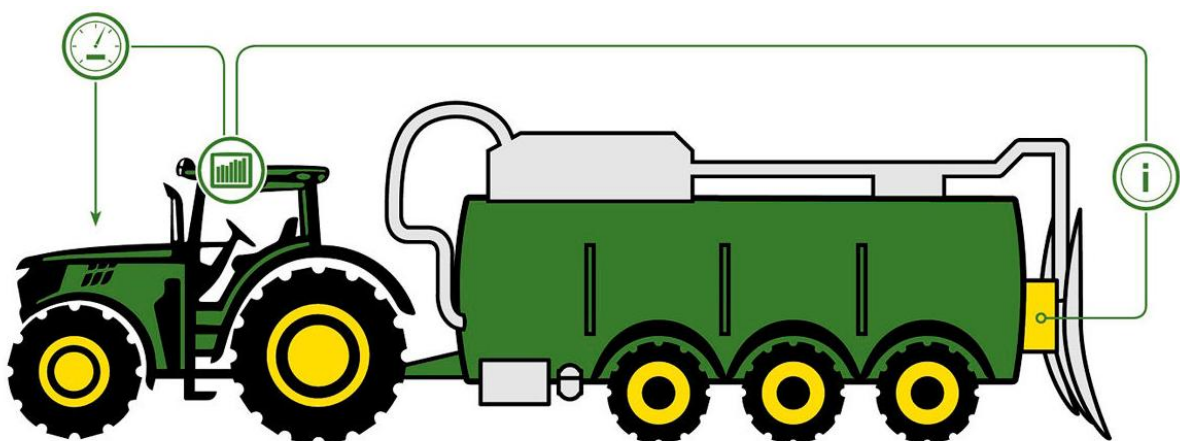


Figuur 56 Stalmeststrooier van fabrikant Joskin

Een mengmestverspreider (Figuur 57) wordt gebruikt om drijfmest te verspreiden over de akkers. Dit gebeurt door het leegpompen van de tank en het verspreiden over de akkers. Het debiet dat door de verspreider gepompt wordt is afhankelijk van het toerental van de pomp. Dit heeft als nadeel dat de druk verlaagt bij een lager toerental en dus ook de werkbreedte bij sommige verspreiders. Om variabel te bemesten moet men dus de rijsnelheid aanpassen om meer of minder te bemesten. Anderzijds kan men on-the-go de kwaliteit van de drijfmest meten met behulp van NIR-sensoren. Een voorbeeld hiervan is Harvestlab, wat ontwikkeld werd door John Deere. Door vele stalen te onderzoeken en te koppelen met een bepaalde NIR-waarde kan een kalibratiecurve opgesteld worden waarmee het stikstofgehalte van de mest geschat wordt. Zo kan ervoor gezorgd worden dat het perceel correct bemest wordt door een koppeling tussen Harvestlab en de trekker (Figuur 58).



Figuur 57 Mengmestverspreider van de fabrikant Joskin



Figuur 58 Schets van tractor met mengmestverspreider uitgerust met Harvestlab

Kunstmest

Een centrifugaalstrooier (Figuur 59) is het meest verkochte type kunstmeststrooier op de markt. Voor kunstmest kiest men eerder voor strooiers met twee strooischijven, voor andere granulaten zoals slakkenkorrels opteert men eerder voor één strooischijf. Het voordeel van twee strooischijven is de grotere werkbreedte (>39 m) en de uniforme verdeling. Maar hoe breder men wil werken hoe groter de invloeden van het type kunstmest zijn. Zo hebben verschillende factoren zoals de korrelgrootte, vorm, massadichtheid enzovoort veel invloed op de baan die de korrel aflegt. Een zwaardere korrel zal verder vliegen dan een lichte korrel. Dit kan zorgen voor ernstige afwijkingen in het strooibeeld wat ten sterkste vermeden moet worden. Daarom is het belangrijk om bij ieder gebruik van de centrifugaal strooier de strooier terug af te stellen op de soort kunstmest.

Er bestaan verschillende types kunstmeststrooiers op de markt elk met een specifiek werkingsmechanisme en werkbreedte. Deze zijn van belang om een correcte dosis te verdelen op de akkers. Zo bracht Vicon een schijvenstrooier op de markt die een automatische werkbreedte variatie mogelijk maakt. Samen met ingebouwde weegsensoren om de flowrate te bepalen en secties van 2 meter zorgt deze strooier voor een accurate weging, automatische kalibratie en een correcte verdeling van de korrel op de akkers (Vicon, 2017). Maar het variabel bemesten kan ook gebeuren tijdens het zaaien. De bemesting wordt hier aangepast aan de snelheid van het zaaien en de gewenste dosis. Deze techniek wordt vooral gebruikt bij het zaaien van mais maar kan men ook al terugvinden op aardappelpootmachines.



Figuur 59 Foto van Vicon Ro-XL centrifugaalstrooier

Andere type strooiers zoals nokkenrad-, pneumatische en pendelstrooiers worden minder aangekocht maar zijn nog beschikbaar op de markt. Deze toestellen hebben een kleinere werkbreedte.

De landbouwer kan ook rijbemesting (Figuur 60) uitvoeren bij het zaaien of poten. Hierbij wordt er enkel kunstmest toegediend wanneer er ook gezaaid wordt. Deze techniek wordt al veel toegepast op precisiezaaimachines waar zaaiunits afzonderlijk afgesloten kunnen worden. Dit heeft als voordeel dat overlapping vermeden wordt en er minder kunstmest nodig is. Ook hier kan men het debiet wijzigen volgens de behoefte van het grid en wordt dit automatisch gestuurd.



Figuur 60 Trekker bezig met maïs zaaien samen met granulaten en rijbemesting

3.2.2 Mechanische onkruidbestrijding

Mechanische onkruidbestrijding kent vooral zijn toepassingen in de biologische landbouw, waar chemische middelen voor onkruidbestrijding verboden zijn. In de toekomst zal het gebruik van chemische middelen op het klassiek landbouwbedrijf sterk verminderen, waardoor er een noodzaak aan precieze mechanische onkruidbestrijdingssystemen is. Dat wijst erop dat naast een optimale kennis over de onkruiden, ook kennis nodig is om de juiste handeling op het juiste moment toe te passen (Humburg, 2001). Het toepassen van herbiciden met een variabele systeem zal ervoor zorgen dat bepaalde plaatsen overgedoseerd zijn wat kan leiden tot fytotoxiciteit bij het gewas. Maar ook zullen bepaalde plaatsen ondergedoseerd worden waar onkruiden resistentie kunnen ontwikkelen. Er bestaat wel een mogelijkheid voor variabele herbicide behandeling waar onkruidkaarten aangelegd worden aan de hand van voorkomen van specifieke onkruidfamilies de voorgaande jaren.

Maar onkruid kan ook aan de hand van multispectrale camera's gedetecteerd worden. Hierbij bestaan er twee optie: het onkruid wordt herkent of het gewas wordt herkent. De eerste optie geeft als voordeel meer ecologisch te zijn. Hierbij wordt het herbicide gekozen aan de hand van het herkende onkruid. De tweede optie geeft dan weer als voordeel eenvoudiger te zijn. Zo is het enkel nodig om het gewas in het systeem te programmeren in plaats van alle soorten onkruid. In beide gevallen wordt er op dezelfde manier gewerkt. Een multispectrale camera neemt een beeld van het gewas met onkruid. In het geval van onkruidherkenning wordt op dit beeld thresholds geplaatst zodat enkel pixels van planten overblijven. Eventueel kunnen thresholds ook gebruikt worden om monocotylen van dicotylen te scheiden, dit aan de hand van de lagere NIR reflectie van monocotylen. De lagere NIR reflectie wordt veroorzaakt door het feit dat monocotylen minder lucht tussen de

cellen heeft. Hierdoor kunnen we verschillende planten van elkaar onderscheiden. Daarnaast wordt van iedere plant de vorm onderzocht. Aan de hand van deze vorm wordt een skelet opgebouwd die alle middellijnen van ieder blad bevat. Iedere middellijn van een blad zal naar het midden van de plant gaan. Waarna plantjes herkend worden en via Fourier-reeksen verschillende onkruiden kunnen geclassificeerd worden.

Wanneer men een duidelijke gewasrij kan waarnemen is het mogelijk om niet alleen tussen de rijen maar ook tussen de planten in dezelfde rij te behandelen. Zo kan de landbouwer tussen de rijen onkruid verwijderen met een stootbrander maar ook een infraroodbrander gebruiken om het onkruid te verwijderen (De Cauwer, 2015). Anderzijds is het ook mogelijk een robot in te zetten. Deze robot verwijdert alle onkruid automatisch met een variabele werkbreedte. De robot kan toegepast worden tussen verschillende gewassen met verschillende rijstanden. Wel moeten de gewasplanten een hoogte hebben van minstens 10 cm om automatisch te sturen. Een voorbeeld hiervan is een weeding-robot ontwikkeld door Naio Technologies (Figuur 61). Deze robot is uitgerust met een LiDAR sensor. Op deze manier weet de robot waar de gewassen staan en verwijdert hij enkel het onkruid. Deze weeding-robot is verkrijgbaar in verschillende modellen voor verschillende toepassingsgebieden zoals wijngaarden en tuinbouw (Guyonneau et al, 2017).



Figuur 61 Weeding robot ontwikkeld door Naio Technologies 'aan het werk' in een serre

Maar meestal wordt gebruik gemaakt van een klassieke schoffelmachine. Deze schoffelmachine schoffelt het onkruid weg tussen de rijen maar niet tussen de planten in de rij. Om dit onkruid te kunnen verwijderen maakt men gebruik van speciale sensoren die de vorm van het gewas herkennen. Zo kan een schoffelmachine tussen twee planten door schoffelen. Als deze dicht bij een plant komt, neemt een camera dit waar en stuurt hij de schoffel uit de plantenrij zodat het gewenste plantje niet beschadigd wordt (De Cauwer, 2015).

4 Precisielandbouw 3.0

Door de stijgende vraag om zo kostenefficiënt te werken, is precisielandbouw 3.0 ontstaan. Hier wordt gewerkt op plantniveau. Met andere woorden wordt iedere plant individueel onderzocht en behandeld. Om dit te kunnen is er nood aan robots en drones uitgerust met sensoren en een beslissingsmodel. Deze kunnen vervolgens automatisch de percelen onderzoeken en behandelen.

De toepassingen die momenteel op de markt zijn, zijn vaak al toepassingen van precisielandbouw 2.0, maar hier wordt slechts één plant onderzocht in plaats van een deel van het perceel. Door de kleinere werkbreedte is dit niet zo efficiënt en duurzaam. Daarom wordt deze installatie over meerdere plantenrijen gebruikt. Zo staan er verschillende sensing en reacting applicaties naast elkaar gemonteerd zodat er grotere werkbreedte mogelijk is.

Vele verschillende firma's zijn op zoek naar een zo praktisch mogelijke toepassing. Hierbij wordt er op vele problemen gestoten. Zo wordt het gebruik van drones en robots beperkt door de wetgeving, capaciteit van de batterij en het laadvermogen. Ook staat vooral de veiligheid van een toevallige voorbijganger in vraag en moet er dus een noodbediening geïnstalleerd worden. Hierbij zijn ze beperkt in grootte en vraagt het soms veel tijd om één hectare te behandelen.

Meestal werken toepassingen van precisielandbouw 3.0 volledig autonoom of worden ze gedragen door een trekker maar blijven ze autonoom behandelen. Dit heeft als voordeel dat de behandeling correct uitgevoerd kan worden en aan hogere snelheid. Voorbeelden hiervan worden opgesomd in Tabel 7 en daarna beschreven.

Tabel 7 Voorbeelden van toepassingen op de markt

Toepassing	Toepassingsgebied
Autonome aardbeienspuit	Aardbeien
Ziekzoekrobot	Tulpen
Zuringsplantherkenningssysteem van Ruud	Onkruidherkenning in grasland
Amazone Bonirob	Alle gewassen
IC cultivator Steketee	Rijenteelt

De autonome aardbeienspuit (Figuur 62) is een hardi luchtondersteunde spuit die gemonteerd wordt op een autonoom rijdende trekker op RTK. Hierbij worden de verschillende hoekpunten van het perceel ingegeven en doet het computersysteem de rest (Kempenaar, 2018).



Figuur 62 Autonome aardbeienspuit

De ziekzoekrobot in tulpen is een systeem die nog in ontwikkeling en heeft als doel viruszieke tulpen te onderscheiden van gezonde tulpen. Hierdoor zou een tekort aan getraind personeel voorkomen worden. Het zou werken met een optische sensor die afwijking van de kleur detecteert (Kempenaar, 2018).

Het zuringplantherkenningssysteem ruud is een Nederlands systeem gemonteerd op een robot die zuring herkent en verwijderd in grasland. Hierbij wordt 90 % van de zuring herkend en 75 % succesvol behandeld met een herbicide. Naast de uitrusting met een spuittoestel kan de robot uitgerust worden met een boor (Figuur 63) die de zuring uit de grond boort. Het systeem herkent zuring aan de hand van de vorm van de bladeren. Deze zijn zeer verschillend met gras en worden eenvoudig gedetecteerd (Kempenaar, 2018). Het systeem kan wel nog problemen wanneer er meerdere planten dicht bij elkaar groeien. Hierbij kan via het algoritme niet elke plant individueel herkend worden waardoor de boor niet op de exacte locatie boort.



Figuur 63 Zuringplantherkenningssysteem Ruud met boor (Kempenaar, 2018)

Amazone BoniRob (Figuur 64) van Amazone is een universeel robotplatform waarmee diverse bewerkingen uitgevoerd kunnen worden. Zo kan op dit platform verschillende sensoren en toestellen gemonteerd worden om specifieke behandelingen uit te voeren op specifieke plaatsen. Aan de hand van taakkaarten kan de robot autonoom te werk gaan. De robot kan gebruikt worden in verschillende teelten met verschillende rijafstanden. Aangezien de markt voor deze type robots nog te klein is door hun geringe toepasbaarheid, is de ontwikkeling tijdelijk aan de kant geschoven (Kempenaar, 2018).



Figuur 64 Amazone BoniRob uitgerust met een boor om staalnames uit te voeren

De IC cultivator van Steketee BV (Figuur 65) is een machine gedragen door een trekker die tussen meerdere rijen het onkruid kan wieden op basis van camera's die schoffels bedienen. Deze schoffels worden pneumatisch bediend en schoffelen tussen de rijen maar ook tussen het gewas in de rij. Het toestel dekt een stuk bodem af en verlicht deze met behulp van een Xenon lamp. Hierdoor worden alle lichtinvloeden van natuurlijk licht uitgesloten. De camera's detecteren de reflectie van het kunstmatig licht en nemen zo waar het gewas zich bevindt en stuurt de schoffel uit de rij. Om op constante hoogte te werken wordt hier gebruikt gemaakt van een ultrasone sensor om de afstand tot de grond te bepalen en is de rijnsnelheid afhankelijk van de plantdichtheid. De cultivator kan verder ook nog uitgerust worden met wiedegetanden, vingerwieders, e.a.(Steketee).



Figuur 65 IC cultivator van Steketee BV

5 Precisielandbouw 4.0 of digital farming

Vooruitstrevende landbouwbedrijven hebben heel wat toepassingen van precisielandbouw aangekocht en in werking gesteld. Het is dan ook logisch dat alles met elkaar in verbinding gesteld wordt. Hierdoor ontstond precisielandbouw 3.0, dit stond nog volledig onder controle van de landbouwer. Hij voert zelfs de screening van zijn gewassen uit en past een behandeling toe. Waardoor het laatste woord altijd voor een mens is. In precisielandbouw 4.0 wordt dat laatste nu juist overgelaten. Zo wordt data afkomstig van een sensor direct naar een computer gestuurd. Deze computer analyseert de gegevens samen met andere omstandigheden en beslist of er al dan niet een andere robot in werking gezet moet worden om het gewas te behandelen en dit zonder dat een mens een inbreng doet. Een concreet voorbeeld is een variabele bemesting in wintertarwe: na de winter neemt een weerstation waar dat de omstandigheden voor een drone vlucht optimaal zijn. Een computer stuurt dit signaal door naar een drone die beelden maakt van het perceel. De beelden van de drone komen vervolgens terug bij de computer die deze vergelijkt met de weeromstandigheden. Een sensor die het watergehalte in de bodem meet, stuurt op zijn beurt een signaal door dat het perceel bewerkbaar is en samen met de gegevens van het weerstation stuurt de computer een taakkaart door naar een tractor met variabele kunstmeststrooier die uitgerust is met een automatische sturing. Deze tractor vertrekt naar het perceel en bemest het perceel zoals aangegeven op de taakkaart. Tijdens heel het proces vond geen enkele handeling van een mens plaats en ontvangt een computer de data en stuurde deze door als taken naar verschillende automatische systemen.

De technische haalbaarheid van deze generatie is niet zo moeilijk. Maar qua veiligheid naar de omgeving toe zijn er nog talrijke obstakels. Want een technische fout is altijd mogelijk.

6 Besluit

Uit de literatuur blijkt dat er al talrijke toepassingen van precisielandbouw bestaan. Van geleiding- en besturingsystemen voor een trekker tot een autonoom werkende robot. Het uitvoeren van behandelingen en variabele toepassingen staat al goed op punt. Maar voor de sensing technologie is nog meer onderzoek nodig.

In de praktijk zijn geleidingsystemen al goed ingeburgerd bij de landbouwers en winnen besturingsystemen in. Een beperkende factor voor veel landbouwers is de digitalisering. Oudere landbouwers hebben vaak moeite met digitale systemen waardoor toepassingen niet optimaal benut worden. Maar de grootste beperkende factor is de kostprijs. Wanneer een landbouwer optimaal gebruik wilt maken van deze technologie moet hij niet enkel de technologie kopen maar soms ook nieuwe werktuigen voor variabele toepassingen.

De reden waarom precisielandbouw nog beperkt is in Vlaanderen is het gebrek aan wetenschappelijke proeven die de rendabiliteit van de toepassingen aantoonst. Wanneer je als landbouwer op zoek gaat naar wetenschappelijke cijfers over de meer opbrengst of besparing die bereikt wordt door variabele bemesting uit te voeren, vindt hij meestal niet veel terug. Dit is hetzelfde voor andere toepassingen. Er is dus nood aan meer onderzoek naar concrete cijfers van wat het kan opbrengen.

Vanwege deze hoge kostprijs en beperkte cijfers over opbrengst worden veel ontwikkelingen aan de kant geschoven om ze later opnieuw verder uit te werken. Robots werden ontwikkeld en voorgesteld maar hebben voorlopig nog beperkte toepassingen waardoor ze economisch niets opbrengen voor ontwikkelaars. Wanneer de landbouw verder geëvolueerd is naar een nieuwe generatie precisielandbouw, zullen er automatisch meer toepassingen voor een robot ter beschikking komen.

Verder dient altijd rekening gehouden te worden met de veiligheid van de landbouwer en derden. Wanneer er meer robots en drones de velden gaan inspecteren en bewerken zal er meer nood zijn aan beveiligde systemen. Een voorbeeld is wanneer de verbinding met bestuurder of satelliet wordt verbroken. Hierbij zal een robot zijn weg verliezen en mogelijks op wegen terecht komen waar hij ongevallen kan veroorzaken. Een drone kan uit de lucht vallen en behoorlijk wat schade veroorzaken, bij een harde val kan eventueel het toestel verloren zijn.

Wanneer multispectrale camera's in de landbouw gebruikt worden, komen vaak dezelfde problemen voor: iedere keer een veld in kaart gebracht wordt, is dit een momentopname. Verschillen in weer en instraling of bewolking kunnen een invloed uitoefenen op het resultaat door wijziging in reflectie maar ook door verandering in fysiologie van de plant. Waardoor nood is aan meerdere momentopnames of de waardes te definiëren van laag naar hoog. Verder kan er ook besloten worden dat enkel het gebruik van multispectrale camera's vaak niet voldoende is. Voor een goede ziektebestrijding is het beter deze beelden te koppelen aan een klimaatstation maar ook aan een thermale camera's om de infecties sneller op te merken. Wanneer percelen willen bemesten zal er meer informatie nodig zijn dan enkel de parameters afkomstig van de multispectrale beelden. Bodemscans kunnen in sommige gevallen hierbij helpen. Zo is het mogelijk om met een on-the-go scan fosforgehaltes te meten en hiernaar te bemesten. Voor stikstof is dit niet mogelijk maar een

bijkomend probleem is het bodemleven. Hierdoor kan er meer stikstof vrijkomen dan eerst verwacht waardoor zelfs een variabele gift gebaseerd op plantparameters niet correct zijn. Een voorbeeld hiervan is stikstofbemesting in wintertarwe: In een perceel is er een lager gelegen gebied terug te vinden waar bij regenval alle nutriënten naar toe stromen. Bij een natte winter zal op deze plaats het vochtgehalte te hoog zijn voor een optimale opname van stikstof waardoor de wintertarwe geel zal kleuren. Maar wanneer het lente wordt en het lager gelegen gebied droger wordt, zal er hier een veel hoger gehalte aan nutriënten beschikbaar zijn. Waardoor de wintertarwe toch nog een optimale opbrengst levert.

Als er variabel bemest wordt kan dit vaak op twee manieren: de hoogproductieve plaatsen een grotere gift of een kleinere gift dan de laagproductieve plaatsen. Deze twee toepassingswijzen hebben vaak elk hun voordelen maar welken het best is, is voorlopig nog niet bewezen.

Ten slotte is de tijdsinput van belang. Sommige sensing technologie vergen zeer veel tijd. De landbouwer moet vaak zijn perceel volledig in kaart brengen met een drone en aanvaardt dit als extra werk. On-the-go technieken zijn in dit geval veel minder tijdrovend maar vergen aanpassingen van werktuigen en het volledige vertrouwen van de landbouwer doordat vooraf geen taakkaart werd opgesteld.

We kunnen dus concluderen dat precisielandbouw in Vlaanderen al zijn intrede gedaan heeft, maar verdere ontwikkelingen mogelijk zijn wanneer er meer bewijzen zijn dat het financieel haalbaar is. Waarbij investeringen gedaan moeten worden op vlak van plant-, bodem- en klimaatsensoren om goede taakkaarten op te stellen en aanpassing van werktuigen om de taakkaarten uit te voeren. Waarbij het belangrijk is alle gegeven over de jaren op te slaan en dit van zoveel mogelijk verschillende sensoren. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de gebruiksvriendelijkheid en veiligheid van de technologie.

Hoofdstuk 3 – Praktische proef

1 Algemeen

In verschillende toepassingen zullen we nagaan of we een multispectrale camera kunnen gebruiken om Vlaamse gewassen te monitoren. Hierbij zullen we nagaan welke plantparameters hiervoor belangrijk zijn en controleren of deze een correcte indicatie geven. Om dit te bepalen worden verschillende use cases opgesteld. Deze toepassingen zijn gras-klover, wintertarwe en prei. In de use case gras-klover zal er nagegaan worden of verschillende waardes voor de plantparameters NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI terug te vinden zijn. Dit wanneer de verhouding tussen gras en klover varieert. Daarnaast worden de Parrot Sequoia op verschillende wijzen gebruikt om afwijkingen van de multispectrale camera in kaart te brengen. Als tweede use case wordt in een perceel wintertarwe verschillende bemestingstrappen aangelegd. Aan de hand van deze verschillen wordt er getest vanaf wanneer er een verschil in parameters: NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI op gevonden. Daarnaast wordt ook de parameter CCCI bestudeerd. Ten slotte wordt de mogelijkheid onderzocht of een opbrengstbepaling mogelijk is op een preiveld. De proeven werden uitgevoerd in samenwerking met ILVO.

2 Gras-klover veld

2.1 Inleiding

Het doel van deze proef is het bepalen of we de samenstelling van een gras klover mengsel kunnen bepalen in veldomstandigheden aan de hand van verschillende plantparameters. Deze parameters zullen bepaald worden aan de hand van Parrot Sequoia sensor gemonteerd op een drone. Daarna wordt een droge stof bepaling gebruikt als referentie. Hierbij worden gras en klover stalen van elkaar gescheiden en gedroogd om zo de samenstelling en droge stof gehalten van beide te bepalen. Het experiment wordt zo opgebouwd dat het mogelijk is om een vergelijking te maken tussen twee verschillende resoluties. Hiermee worden beelden genomen op twee verschillende hoogtes.

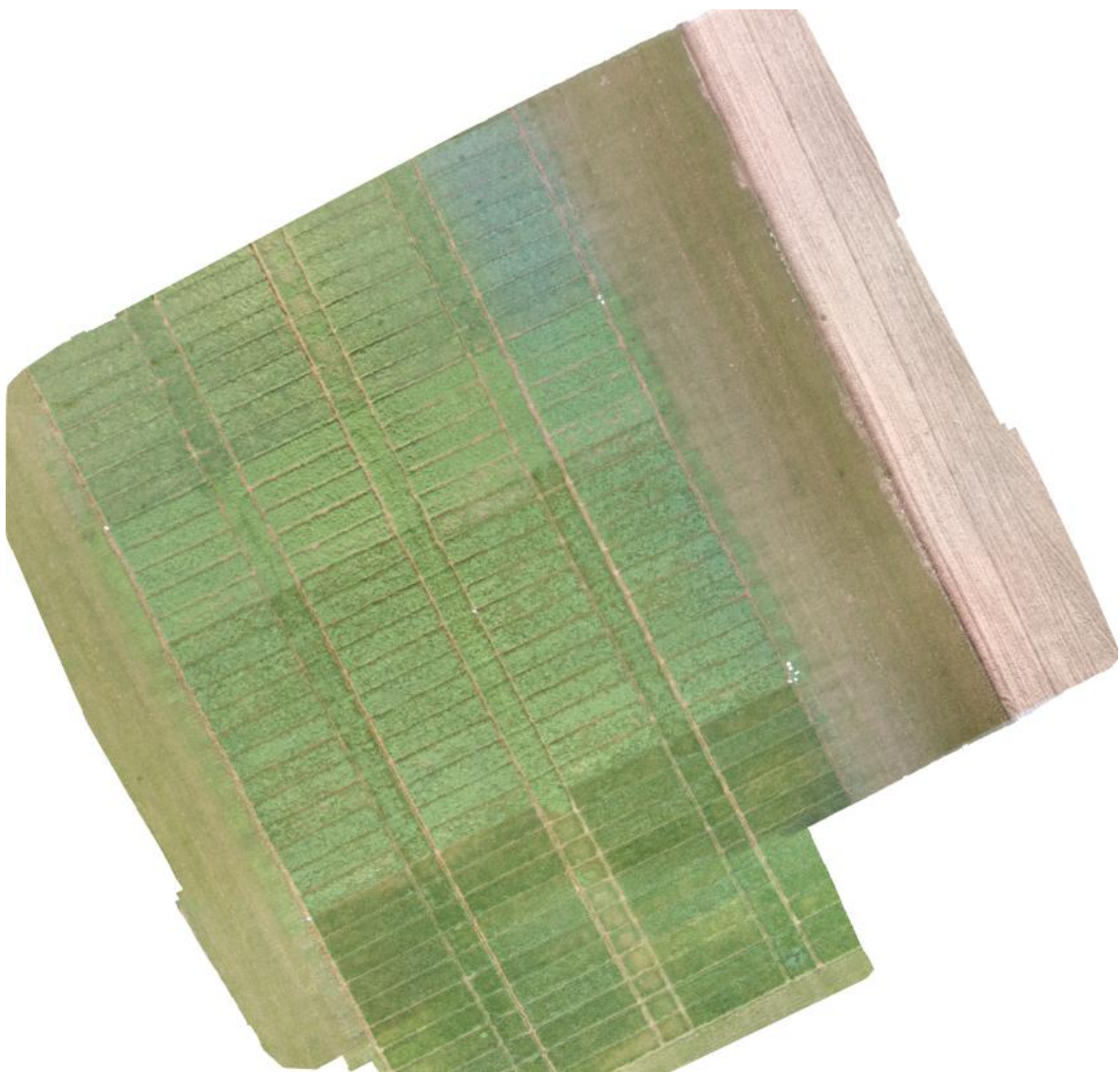
In een tweede experiment hopen we te kunnen bepalen of het tijdstip waarop de beelden genomen zijn een grote invloed heeft op de resultaten.

2.2 Proefopstelling

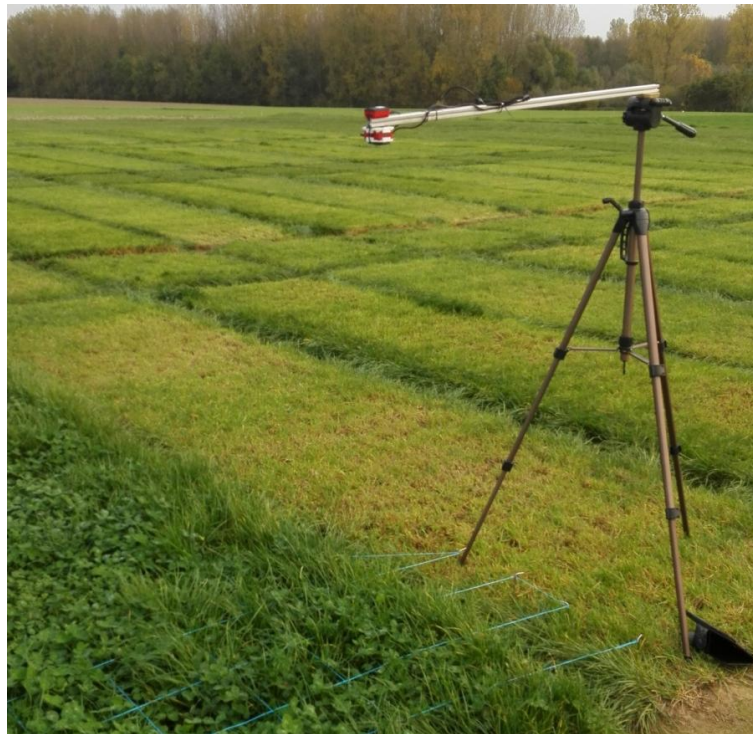
De beelden worden genomen van een bestaande proef opgesteld in opdracht van ILVO (Figuur 66): deze proef bestaat uit drie delen: deel A waar enkel rode klover gezaaid werd, deel B waar rode klover gemengd werd met Engels raaigras en deel C waar enkel Engels raaigras gezaaid werd (Figuur 67). Het deel C heeft als doel de verschillen tussen verschillende rassen Engels raaigras te bestuderen, deel A wordt gebruikt om de maximale opbrengst van klover op te meten en deel B

wordt gebruikt om de concurrentie van rode klaver met verschillende rassen Engels raaigras te bestuderen. Voor het eerste experiment werden enkel beelden genomen van deel B, in het tweede experiment werden slechts proefveldjes 1 tot 8 gebruikt. Proefveldjes 1 tot 8 zitten in de rand zone met deel C waar een ander bemestingsregime toegepast werd. Omdat een kunstmeststrooier niet correct kan afsluiten op de grens van deel B en C ontstaat er een foutieve bemesting in het randgebied. Dit kan leiden tot verschillende resultaten binnen deze proefveldjes. Uit dit gebied zullen ook stalen voor analyse genomen worden. Dit zal gebeuren in proefveldjes 1, 4 en 6.

Voor het tweede experiment werd na de eerste vlucht met de drone waarop de Parrot Sequoia gemonteerd was een tweede vlucht gevlogen op dezelfde dag.



Figuur 66 RGB gestichte luchtfoto van het perceel



Figuur 68 Foto van Parrot Sequoia gemonteerd op statief bij proefveldje 1

De sequoia is zelf uitgerust met een gps-systeem om zijn beelden te geo-referen (Figuur 69). Maar als controle werd ieder proefveldje opgemeten via een RTK gps-systeem (Figuur 70). Dit gebeurde door een hoekpunt van ieder proefveldje de gps-coördinaten op te meten en deze te verwerken.



Figuur 69 Foto getrokken van referentiesysteem gebruikt om te geo-referen



Figuur 70 Gps-systeem om de exacte locatie van de proefveldjes te bepalen

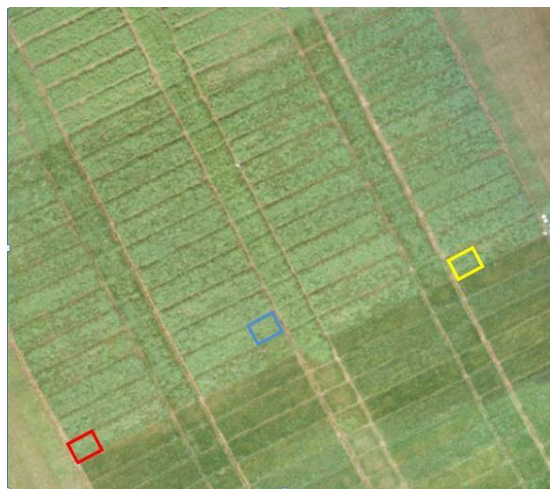
De met het statief genomen beelden van de Parrot Sequoia van het eerste experiment werden voor dit experiment hergebruikt. Maar hier concentreren we ons vooral op de proefveldjes waar de stalen genomen werden.

De stalen werden genomen met een hiervoor voorziene oogstmachine: Haldrup 1,5 m werkbreedte (Figuur 71) op woensdag 18 oktober 2017 rond 11u30. Hierbij werd één meter van de anderhalve meter brede proefveldjes geoogst. Per proefveldje werd het gras manueel van de klaver gescheiden, gewogen met weegschaal van Satorios tot 1g nauwkeurig en in de droogstoof gestoken dezelfde dag om 16u. Op maandag 23 oktober 2017 om 12u30 werden de stalen uit de droogstoof gehaald en opnieuw afgewogen. Wel kan men opmerken dat proefveldje 4 een hogere stikstofgift gekregen had, wat leidde tot zichtbaar grotere biomassa.



Figuur 71 Foto van speciale oogstmachine

De beelden met verschillende resolutie werden verwerkt met een software programma's Pix4Dmapper (Pix4D, 4.2) en Agisoft (Agisoft, 1.4.2). Maar hierbij werd iedere keer een probleem gedetecteerd tijdens het geo-referen bij de beelden met hoge resolutie. Doordat slechts één hoekpunt als geo-referentie werd opgemeten ter controle van de sequoia werd dit als onbruikbaar beschouwd aangezien er meerdere meetpunten nodig zijn voor een correcte geo-referentie. De beelden gemaakt met de drone zijn wel correct gegeo-refereerd en bruikbaar. Hierop werd vervolgens verder gewerkt. Uit Proefveldjes 1, 4 en 6 werd de oppervlakte die geoogst werd geselecteerd (Figuur 72) en uitgeknipt in Qgis (Qgis Development team, 2.18.16). Vervolgens werd in hetzelfde programma de verschillende parameters NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI berekend. De resultaten de bestanden werden vervolgens ingeladen in Matlab (Mathworks Inc, 2018a) om per proefveldje het gemiddelde, mediaan en standaardafwijking te berekenen.



Figuur 72 RGB-beeld van gras klaverveld met verschillende proefveldjes aangeduid: rood = proefveldje 1, geel = proefveldje 4 en blauw = proefveldje 6

De bekomen gegevens werden vervolgens gekoppeld aan het percentage gras en klaver om een lineaire regressie in Excel (Microsoft Office, 2007) op te stellen. Om de verhouding tussen gras en klaver te vergelijken met de resultaten van de parameters werd dit gedaan aan de hand van de

gewichten verse stof. Er werd hiervoor gekozen omdat de parameters van toepassing zijn op actief plantenmateriaal. Indien de interesse meer naar de totale opbrengst gaat, is het interessanter om de verhouding in droge stof te gebruiken.

2.3.2 Experiment 2

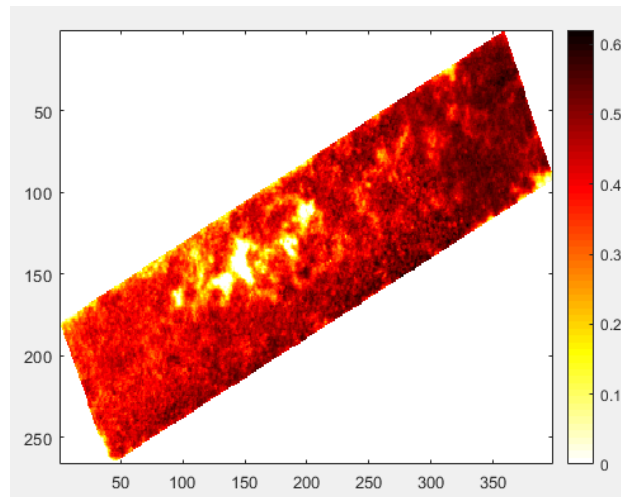
Hier is het doel te onderzoeken of er een verschil in gewasindices optreedt wanneer op een ander tijdstip beelden genomen worden. Hierbij werd een eerste vlucht gestart op 13 oktober 2017 om 11u 37min tot 11u 43min. Hierbij vloog de drone die uitgerust was met de Sequoia (Figuur 73) over het perceel om een eerste deel beelden te nemen. De tweede vlucht startte dezelfde dag om 13u 42min en eindigde om 13u 48min. Voordat iedere vlucht plaats vond werden kalibratiebeelden genomen zoals in Kalibreren van het systeem beschreven.



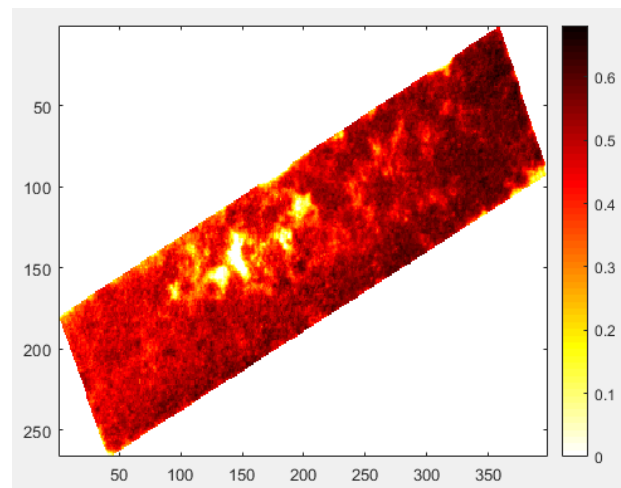
Figuur 73 Foto getrokken van de Sequoia gemonteerd op de drone

De beelden werden gestitched en verwerkt door het softwareprogramma Agisoft (Agisoft, 1.4.2). Daarna werden ze via Qgis (Qgis Development team, 2.18.16) ingeladen waar de proefveldjes uitgeknipt werden en de verschillende parameters: NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI per proefveldje uitgerekend werden. Door een code in Matlab (Mathworks Inc, 2018a) werd vervolgens de gemiddelden, mediaan en standaardafwijking per proefveldje bepaald. De gekozen parameters zijn hier NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI. Dit komt omdat bij de verwerking alle waarden onder nul uit het beeld verwijderd werden en dus ook de bodem punten. Dit werd voor beide vluchten uitgevoerd en proefveldjes 1 tot en met 8 werden met elkaar vergeleken aan de hand van een gepaarde t-test (Excel) met significantieniveau van 5%. Daarna werd het gemiddelde verschil tussen beide vluchten (Figuur 76) berekend samen met het betrouwbaarheidsinterval van 95%. Aan de hand van deze waarden werd het percentueel verschil tussen vlucht 1 (Figuur 74) en vlucht 2 (Figuur 75) bepaald waarbij het gemiddelde verschil vlucht 2 verminderd met vlucht 1 is. Dit werd eveneens bepaald voor het betrouwbaarheidsinterval (Tabel 15).

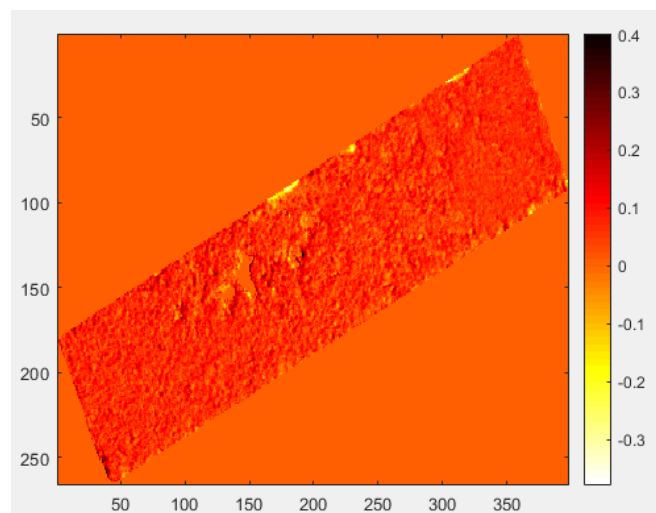
Beide experimenten werden herhaald maar in plaats van op basis van de gemiddelde waarden per proefveldje wordt nu de mediaan gebruikt. De mediaan is de middelste waarde van de verzameling en is zo een goede schatter voor de populatie wanneer er meer interesse is in het meest voorkomende. Voor beide experimenten werden dezelfde resultaten verkregen (Bijlage 1).



Figuur 74 NDVI kaart van plot 4 op basis van vlucht 1



Figuur 75 NDVI kaart van plot 4 op basis van vlucht 2



Figuur 76 Verschil tussen vlucht 1 en vlucht 2 voor NDVI

2.4 Resultaten

2.4.1 Experiment 1

Wanneer de twee software programma's Pix4Dmapper (Pix4D, 4.2) en Agisoft (Agisoft, 1.4.2) met elkaar vergeleken worden, merken we geen verschil in de resultaten maar wel in werkwijze. Bij Agisoft moet de gebruiker iedere stap zelf opstarten en weet deze persoon wat hij aan het doen is. Bij Pix4D wordt een methode gekozen aan de hand van wat hij wilt en voert het programma alles zelf uit tot het resultaat bereikt wordt. Doordat Pix4D bij ieder project zijn volledige voorgeprogrammeerde werkwijze doorloopt kost dit veel meer tijd dan bij Agisoft. Wanneer we het resultaat bekeken en dit ook vergelijken met bemerkingen van andere gebruikers kan er geconcludeerd worden dat beide programma's hetzelfde resultaat leveren en er dus hierop geen verschillen op te merken zijn. Wel heeft pix4D een gebruiksvriendelijkere en designvollere lay-out.

Het bekomen gemiddelde, mediaan en standaardafwijking voor iedere parameter per proefveldje wordt weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Overzicht resultaten van proefveldjes 1, 4 en 6

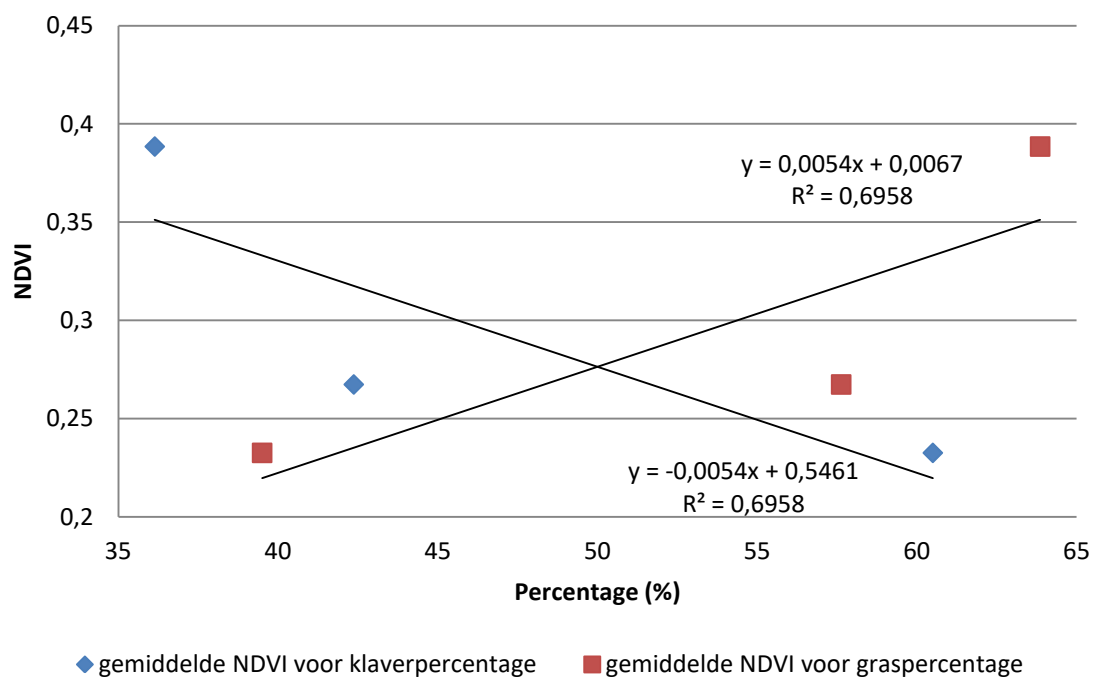
	NDVI			NDRE		
	gem	med	std	gem	med	std
Proefveldje 1	0,2674	0,2748	0,0675	0,0228	0,0184	0,0176
Proefveldje 4	0,3885	0,3994	0,0735	0,0239	0,0191	0,0188
Proefveldje 6	0,2326	0,2393	0,0624	0,0181	0,0147	0,0149
	GNDVI			GRVI		
	gem	med	std	gem	med	std
Proefveldje 1	0,0840	0,0794	0,0507	0,2101	0,2124	0,0628
Proefveldje 4	0,1271	0,1277	0,0649	0,2799	0,2888	0,0639
Proefveldje 6	0,0539	0,0463	0,0387	0,2148	0,2203	0,0547

De droge stof gehalten worden getoond in Tabel 9. Daarna werden de verhoudingen vers en gedroogd uitgerekend. Ook valt op dat het totaal gewicht bij proefveldje 4 groter is, dit is veroorzaakt door de grotere stikstofbemesting.

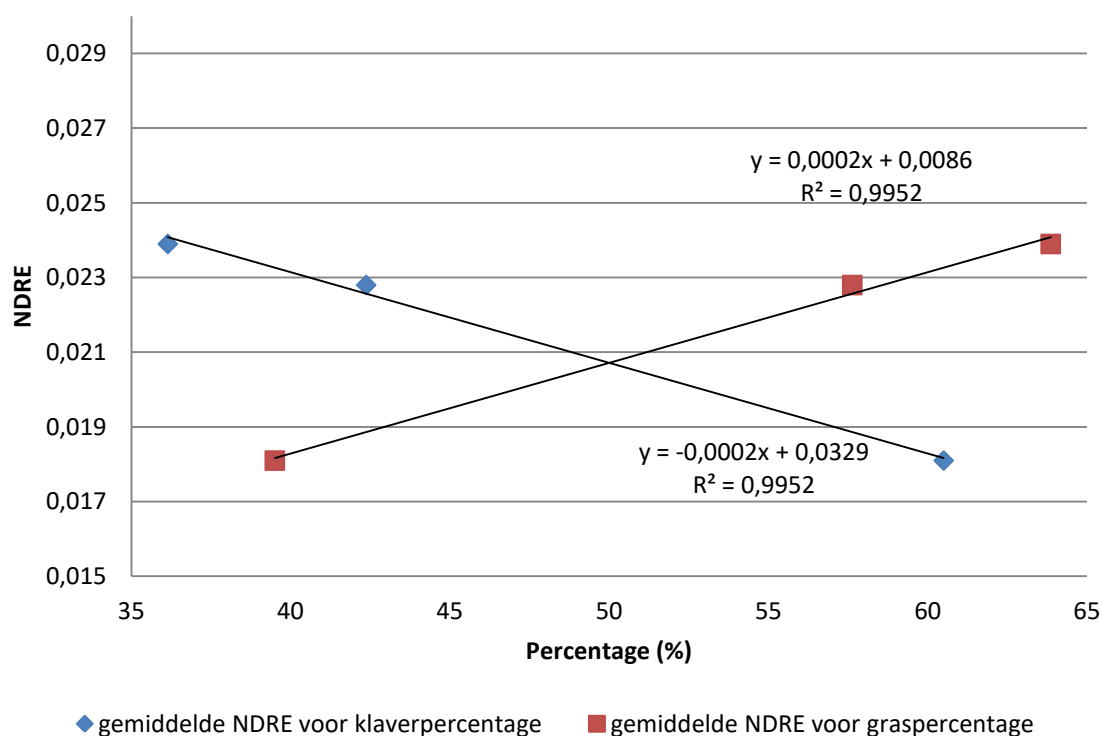
Tabel 9 Overzichtstabel van gewichten vers en gedroogd van gras en klaver van verschillende proefveldjes met hun verhouding

	Gewas	Gewicht vers (g)	Gewicht droog (g)	Droge stof gehalte (%)	Verhouding vers (%)	Verhouding DS (%)
Proefveldje 1	Klaver	630	92	14,60	42,37	37,40
	Gras	857	154	17,97	57,63	62,60
Proefveldje 4	Klaver	786	144	18,32	36,14	30,90
	Gras	1 389	322	23,18	63,86	69,10
Proefveldje 6	Klaver	1 031	160	15,52	60,50	55,56
	Gras	673	128	19,02	39,50	44,44

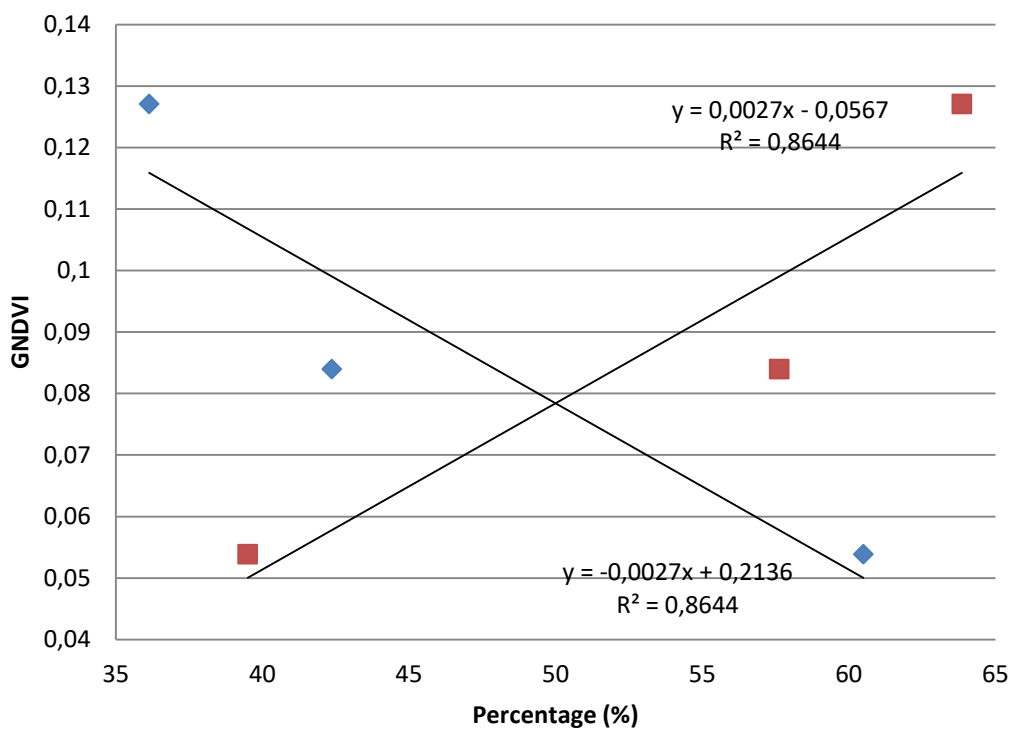
In Figuur 77 tot en met Figuur 80 worden de relatie tussen de gemiddelde plantparameter en het percentage klaver en gras aandeel weergegeven.



Figuur 77 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde NDVI

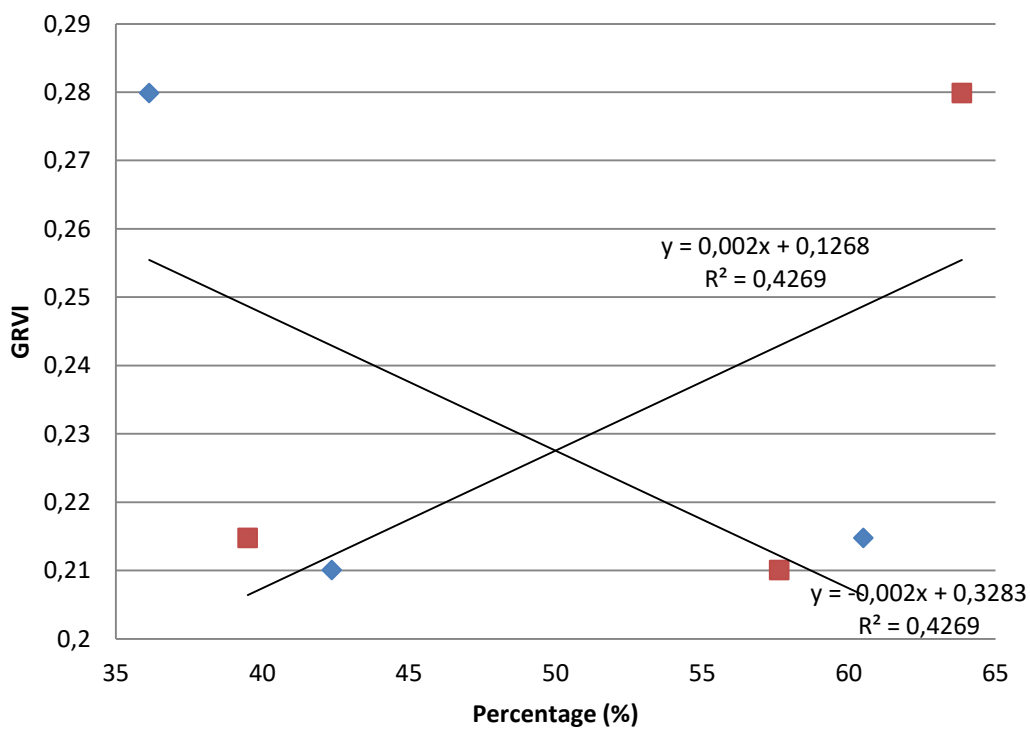


Figuur 78 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde NDRE



◆ gemiddelde GNDVI voor klaverpercentage ■ gemiddelde GNDVI voor graspercentage

Figuur 79 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde GNDVI



◆ gemiddelde GRVI voor klaverpercentage ■ gemiddelde GRVI voor graspercentage

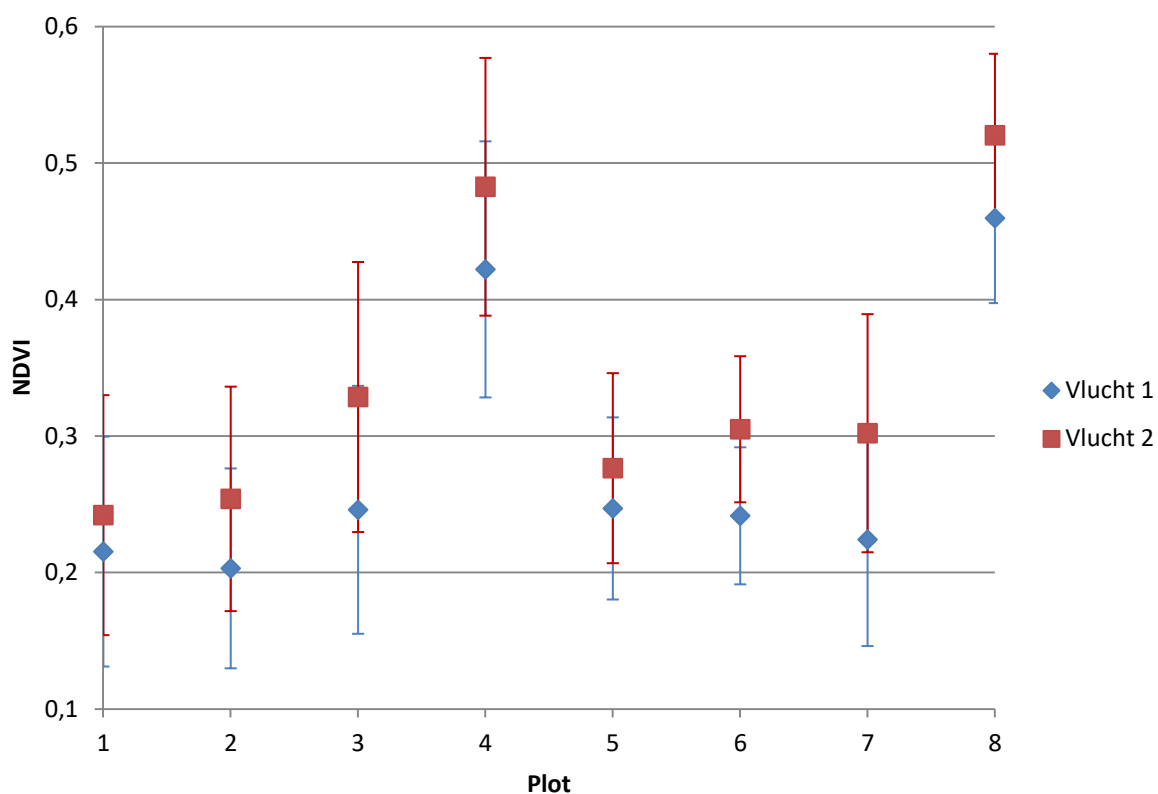
Figuur 80 Vergelijking tussen verhouding gras klaver en gemiddelde GRVI

2.4.2 Experiment 2

In Tabel 10 tot en met Tabel 13 wordt het gemiddelde, mediaan en standaardafwijking weergegeven voor de verschillende parameters. Daarnaast worden beiden met elkaar vergeleken (Figuur 81 tot en met Figuur 84).

Tabel 10 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor NDVI

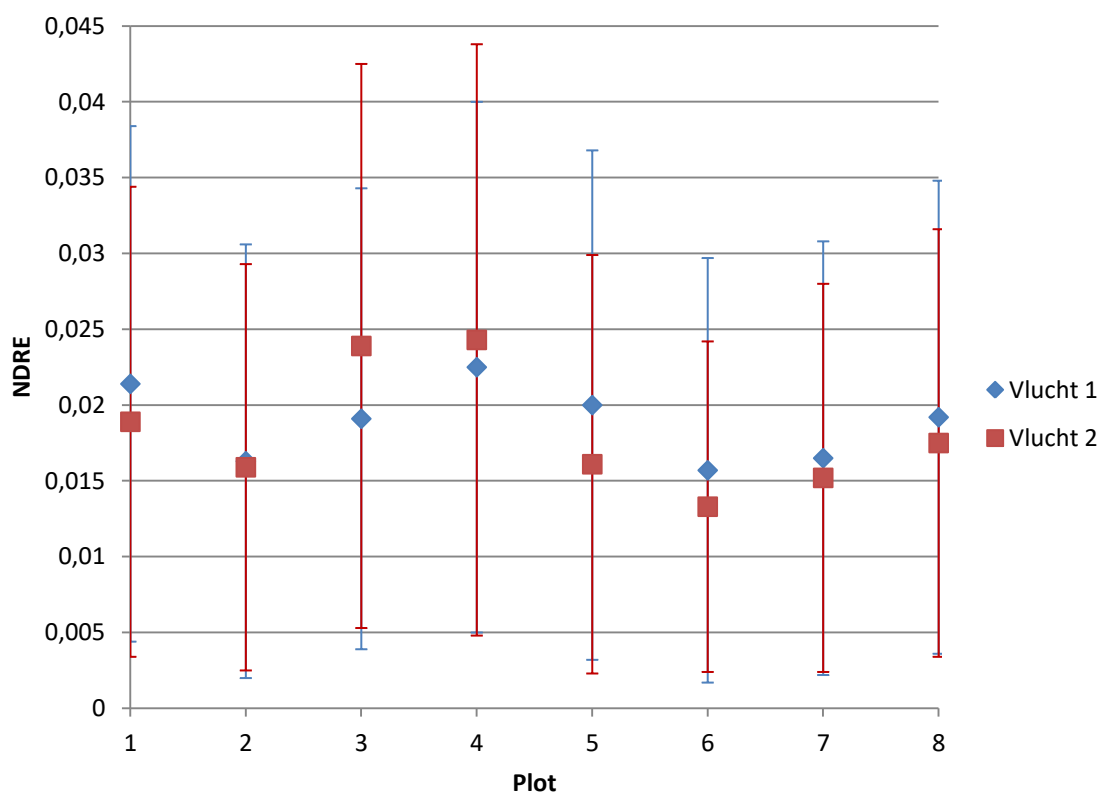
	NDVI Vlucht 1			NDVI Vlucht 2		
	Gem	med	std	gem	med	std
Proefveldje 1	0,2153	0,2238	0,0842	0,2420	0,2533	0,0879
Proefveldje 2	0,2030	0,2113	0,0732	0,2539	0,2667	0,0822
Proefveldje 3	0,2459	0,2526	0,0908	0,3285	0,3438	0,0989
Proefveldje 4	0,4220	0,4366	0,0938	0,4825	0,4988	0,0944
Proefveldje 5	0,2469	0,2537	0,0667	0,2764	0,2848	0,0696
Proefveldje 6	0,2415	0,2451	0,0502	0,3049	0,3082	0,0535
Proefveldje 7	0,2241	0,2323	0,0780	0,3020	0,3167	0,0872
Proefveldje 8	0,4595	0,4652	0,0622	0,5202	0,5269	0,0597



Figuur 81 Vergelijking gemiddelde NDVI per proefveldje

Tabel 11 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor NDRE

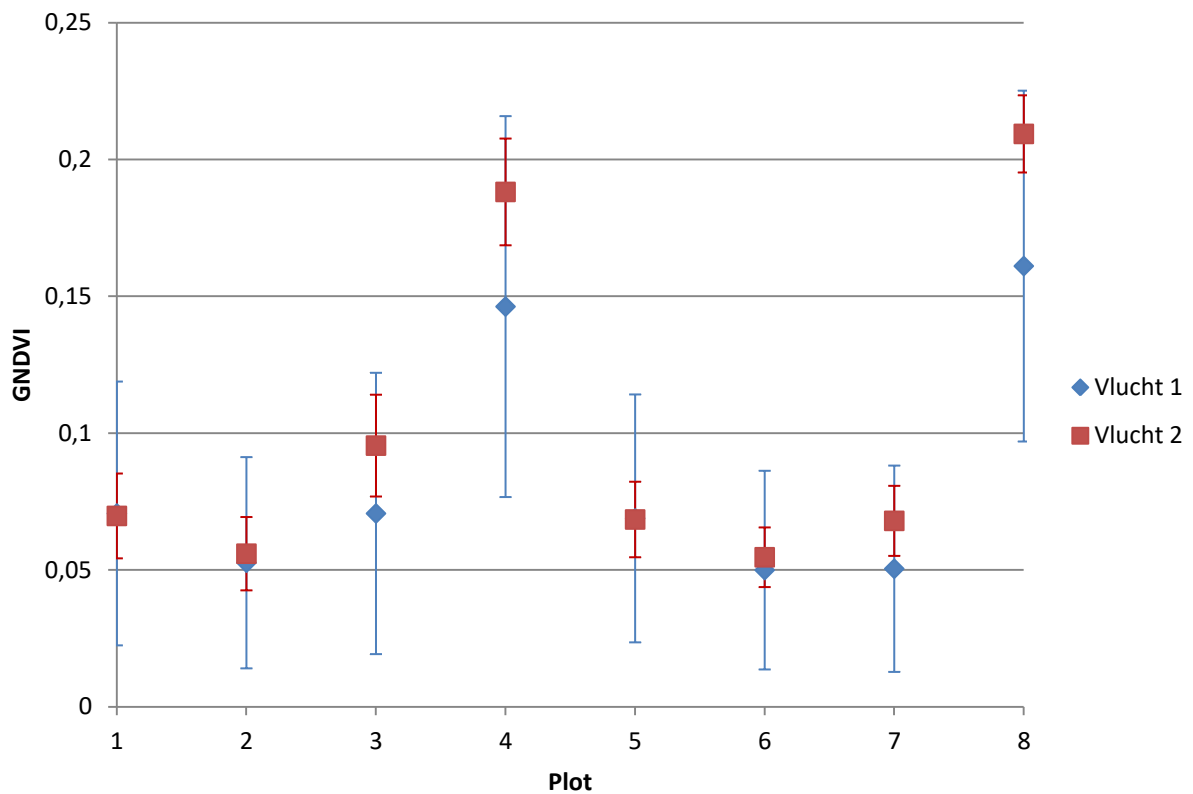
	NDRE vlucht 1			NDRE vlucht 2		
	Gem	med	std	gem	med	std
Proefveldje 1	0,0214	0,0169	0,0170	0,0189	0,0148	0,0155
Proefveldje 2	0,0163	0,0123	0,0143	0,0159	0,0122	0,0134
Proefveldje 3	0,0191	0,0152	0,0152	0,0239	0,0196	0,0186
Proefveldje 4	0,0225	0,0182	0,0175	0,0243	0,0194	0,0195
Proefveldje 5	0,0200	0,0154	0,0168	0,0161	0,0122	0,0138
Proefveldje 6	0,0157	0,0120	0,0140	0,0133	0,0103	0,0109
Proefveldje 7	0,0165	0,0124	0,0143	0,0152	0,0115	0,0128
Proefveldje 8	0,0192	0,0151	0,0156	0,0175	0,0139	0,0141



Figuur 82 Vergelijking gemiddelde NDRE per proefveldje

Tabel 12 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor GNDVI

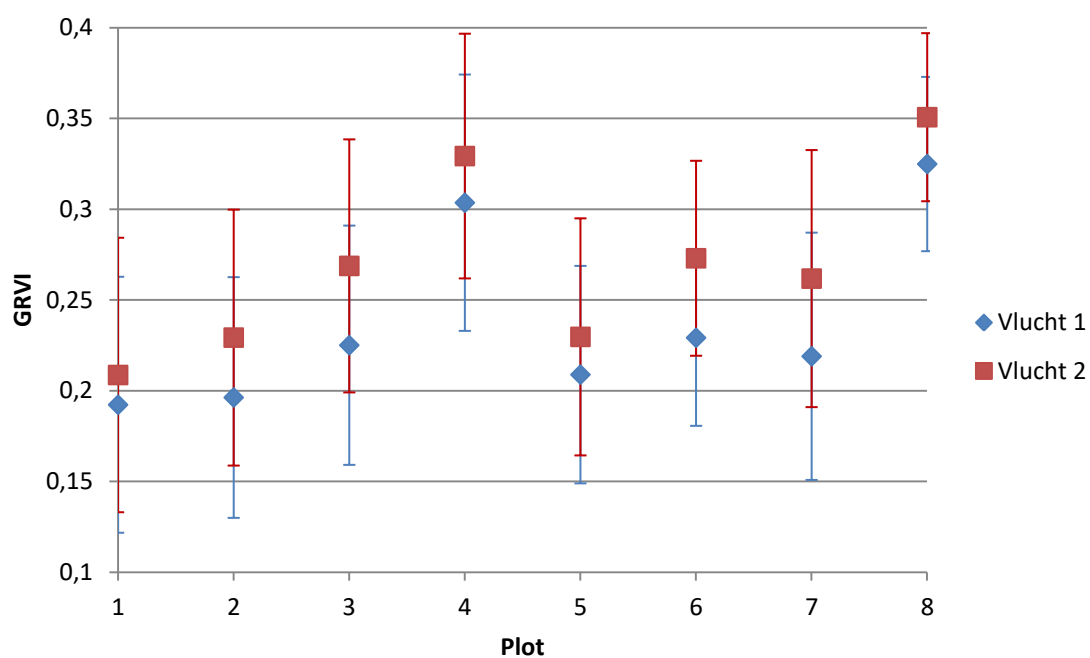
	GNDVI Vlucht 1			GNDVI Vlucht 2		
	Gem	med	std	gem	med	std
Proefveldje 1	0,0706	0,0629	0,0482	0,0697	0,0632	0,0459
Proefveldje 2	0,0526	0,0446	0,0386	0,0559	0,0491	0,0388
Proefveldje 3	0,0706	0,0613	0,0514	0,0954	0,0866	0,0617
Proefveldje 4	0,1462	0,1473	0,0696	0,1881	0,1916	0,0684
Proefveldje 5	0,0688	0,0625	0,0453	0,0684	0,064	0,0419
Proefveldje 6	0,0499	0,0429	0,0363	0,0546	0,0493	0,0363
Proefveldje 7	0,0504	0,0428	0,0377	0,0679	0,0623	0,0436
Proefveldje 8	0,1610	0,1620	0,0641	0,2093	0,2109	0,0583



Figuur 83 Vergelijking gemiddelde GNDVI per proefveldje

Tabel 13 Overzicht van resultaten voor de verschillende proefveldjes en vluchten voor GRVI

	GRVI vlucht 1			GRVI vlucht 2		
	Gem	med	std	gem	med	std
Proefveldje 1	0,1922	0,1972	0,0705	0,2086	0,2158	0,0756
Proefveldje 2	0,1962	0,2028	0,0663	0,2292	0,2359	0,0705
Proefveldje 3	0,2250	0,2344	0,0659	0,2687	0,2794	0,0697
Proefveldje 4	0,3035	0,3132	0,0706	0,3292	0,3372	0,0674
Proefveldje 5	0,2088	0,2126	0,0599	0,2296	0,2344	0,0653
Proefveldje 6	0,2291	0,2323	0,0485	0,2729	0,2767	0,0537
Proefveldje 7	0,2189	0,2278	0,0681	0,2617	0,2719	0,0708
Proefveldje 8	0,3248	0,3303	0,0480	0,3506	0,3555	0,0463



Figuur 84 Vergelijking gemiddelde GRVI per proefveldje

Tabel 14 Overzicht van verschillende p-waardes voor de verschillende parameters met nulhypothese = geen verschil tussen de parameters voor verschillende vluchten

	P-waarde	Besluit
NDVI	<0,005	We verwerpen de nulhypothese
NDRE	0,6832	We aanvaarden de nulhypothese
GNDVI	0,0385	We verwerpen de nulhypothese
GRVI	<0,005	We verwerpen de nulhypothese

Tabel 15 Overzicht van procentuele afwijking tussen vlucht 1 en vlucht 2 waarbij het gemiddelde = gemiddelde van vlucht 2 – gemiddelde van vlucht 1 en de boven- en ondergrens het 95% betrouwbaarheidsinterval zijn

			Verskil tussen Vlucht 1 en 2			Procentueel		
	Vlucht1	Vlucht2	Ondergrens	Gemiddelde	Bovengrens	Ondergrens	Gemiddelde	Bovengrens
NDVI	0,2823	0,3388	0,0396	0,0565	0,0734	14,03%	20,02%	26,00%
NDRE	0,0188	0,0181	-0,0030	-0,0007	0,0016	-16,08%	-3,72%	8,65%
GNDVI	0,0838	0,1012	0,0012	0,0174	0,0336	1,46%	20,77%	40,11%
GRVI	0,2373	0,2688	0,0223	0,0315	0,0407	9,40%	13,27%	17,15%

2.5 Bespreking

2.5.1 Experiment 1

In Figuur 77 tot en met Figuur 80 worden de verschillende parameters met de verhouding gras en klaver vergeleken. Daarnaast werd ook een trendlijn opgesteld en de correlatie berekend. Hierbij valt er op dat voor NDRE een zeer hoge correlatie bekomen wordt van 0,9952. Voor GRVI wordt een lagere correlatie van 0,4269 bekomen. Ter illustratie werden dezelfde grafieken gemaakt op basis van droog gewicht in plaats van vers gewicht. Beide reeksen van resultaten werden met elkaar vergeleken in een T-toets met een significantieniveau van 5% waar een p-waarde bekomen werd van 0,9772. Hierdoor kunnen we concluderen dat er geen verschil tussen de verse en gedroogde verhoudingen gras en klaver. Als de grafieken verder bestudeerd worden, is een duidelijke trend op te merken. Hierbij heeft een hoger percentage klaver vaak een lager resultaat voor de plantindices. Dit kan verklaard worden door de vorm van de plant: klaverplanten zijn veel kleiner dan gras als ze hiermee in concurrentie zijn. Door het kleine bladoppervlak is er ook minder chlorofyl aanwezig en worden lagere waardes voor plantparameters bekomen. Hetzelfde werd gedaan om de verhouding tussen gras en klaver te vergelijken met de mediaan van iedere proefveldje. Hierbij werden ongeveer dezelfde resultaten bekomen (Bijlage 1).

Om te vergelijken of er een beter correlatie bekomen werd door met droge stof percentage te werken in plaats van verse stof werden de verschillende correlaties vergeleken in een T-toets met significantieniveau 5% met een p-waarde als resultaat van 0,9772. Waardoor kan besloten worden dat er geen verschil is tussen de correlatie tussen de parameters met droge of verse stof. Dit kan aan de hand van de NDRE die bepaald werd met de Parrot Sequoia.

Belangrijk om op te merken is de kleine grootte van de steekproef. Er werden slechts drie proefveldjes geoogst waardoor er niet veel data beschikbaar is. Het is dus goed mogelijk dat bij een grotere proef andere resultaten bekomen worden. Maar deze kleinschalige proef kan wel gebruikt worden als indicator dat de verhouding weldegelijk bepaald kan worden aan de hand van plantparameters en in dit geval het best met NDRE.

2.5.2 Experiment 2

In Tabel 10 tot en met Tabel 13 valt direct op dat de waarden niet exact dezelfde zijn maar niet veel afwijkend zijn. Dit wordt nogmaals geïllustreerd in Figuur 81 tot en met Figuur 84 waar de gemiddelden per proefveldje samen met hun standaardafwijking worden weergegeven. Vervolgens werd een gepaarde t-toets uitgevoerd met de nulhypothese dat er geen verschil is tussen beide vluchten per parameter. Voor slechts één parameter: NDRE wordt een p-waarde groter dan 0,05 bekomen waardoor er geconcludeerd worden dat tussen de twee vluchten statistisch geen verschil is voor NDRE. Maar er wel een verschil is tussen parameters NDVI, GNDVI en GRVI (Tabel 14).

Voor drie van de vier parameters wordt een significant verschil tussen beide vluchten bekomen wat duidelijk zichtbaar is aan het procentueel verschil. Uit Tabel 15 kan verondersteld worden dat voor NDVI de tweede vlucht gemiddeld 20% hogere waarden bekomen worden dan bij de eerste vlucht. Waarbij geldt dat in 95% van de gevallen de waarden bekomen tijdens de tweede vlucht in het interval [14% ; 26%] liggen. Maar wanneer waarden kleiner zijn dan de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval kan via een equivalentiestudie aangetoond worden dat de vluchten equivalent zijn. Dit wil zeggen dat bij significante verschillen tussen twee vluchten deze verschillen zo klein zijn dat deze niet meer relevant zijn.

3 Tarwe

3.1 Inleiding

Het doel van deze proef is op een tarweperceel verschillen te bepalen aan de hand van een multispectrale camera. Deze verschillen zullen gecreëerd worden door verschillende bemestingstrappen aan te brengen die gebaseerd zijn op een bodemanalyse. Bij de verschillende bemestingstrappen wordt een ander resultaat in groei en uiteindelijk opbrengst verwacht, wat zal worden vastgelegd aan de hand van drone vluchten. Uit deze drone vluchten zullen vier verschillende parameters berekend worden op basis van het gemiddelde en mediaan per proefveldje. Naast deze parameters zal ook de CCCI op basis van NDVI en NDRE bepaald worden en in vergelijking gebracht worden met de stikstofgift op dat moment.



Figuur 85 Gestitchte RGB beeld op basis van dronevlucht 19 maart 2018

3.2 Werkwijze

Aan de zijkant van het veld werd een bemestingsproef aangelegd die bestaat uit 50 proefveldjes. Hierbij werden in totaal 10 verschillende trappen uitgevoerd wat 5 herhalingen per trap oplevert. De bemesting werd opgesteld aan de hand van een bodemstalen uitgevoerd door Bodemkundige Dienst van België (BDB) op 28 augustus 2017 (Tabel 16) en op 15 februari 2018 (Tabel 17). Vervolgens werd de aanwezige stikstof gemeten op 15 februari 2018 door BDB op verschillende dieptes.

Tabel 16 Resultaten bodemstaal en beoordeling gemaakt door BDB

	deeg- of voedermaïs	wintertarwe	vezelvlas
Stikstof (N)	170 kg/ha	185 kg/ha	40 kg/ha
Fosfor (P ₂ O ₅)	60 kg/ha	40 kg/ha	70 kg/ha
Kalium (K ₂ O)	150 kg/ha	30 kg/ha	100 kg/ha
Magnesium (MgO)	0 kg/ha	20 kg/ha	40 kg/ha
Natrium (Na ₂ O)	0 kg/ha	0 kg/ha	0 kg/ha
Boor (B)	- kg/ha	- kg/ha	- kg/ha
Zwavel (SO ₃)	- kg/ha	- kg/ha	- kg/ha

In Tabel 17 valt op dat de bodem zeer lage hoeveelheid stikstof bevat. De N-index berekend door BDB was 103 en is een maat voor de hoeveelheid beschikbare stikstof voor de teelt op dit perceel en houdt rekening met de actuele stikstofreserve, de stikstof die gedurende het groeiseizoen zal vrijkomen en verliezen die kunnen optreden (Bijlage 2).

Tabel 17 Overzicht van stikstofgehalten op verschillende dieptes door BDB op 15 februari 2018

Methode	458 Grondsoort	462 B Nitrische stikstof in kg N/ha	462 B Ammoniakale stikstof in kg N/ha	089 B pH-KCl	473 B Koolstof in %
Datum	16/02/2018	16/02/2018	16/02/2018	16/02/2018	16/02/2018
0 - 30 cm	35 Lichte leem	6	< 4	6.3 Tamelijk laag.	1.0
30 - 60 cm		4	< 4		
60 - 90 cm		6	< 4		

Hieruit kan besloten worden dat het lage gehalte aan stikstof ervoor zorgt dat de groei van de wintertarwe zonder bemesting zwaar belemmerd wordt. Hierdoor wordt de bemestingsproef waarschijnlijk weinig beïnvloed door de aanwezige stikstof. Om dit na te gaan werd op 19 maart 2018 net voor de eerste bemesting een eerste drone vlucht uitgevoerd om na te gaan of er verschillen tussen de proefveldjes op te merken zijn.

Het BDB adviseerde aan de hand van het bodemonmonster een bemesting van 226 kg stikstof per hectare op het betreffende perceel. De bemesting werd opgesplitst in drie fracties van 90 kg, 60 kg en 76 kg stikstof per hectare. Op basis van dit advies werd de bemestingsproef opgesteld (Tabel 18). Hierbij werden trappen gemaakt met variatie van 50% tot 150% van het totale advies in stappen van 12,5%. Deze negen trappen worden uitgevoerd in drie fracties, voor de tiende trap werd slechts gewerkt met twee fracties omdat dit in de praktijk nog vaak voorkomt.

Tabel 18 Overzicht van verschillende bemestingstrappen ten over referentie

Totaal (kg N)	Percentage (%)	Bemestingstrap	1 ^e (kg N)	2 ^e (kg N)	3 ^e (kg N)
226	100,00	1	90	60	76
197,75	87,50	2	79	53	67
169,5	75,00	3	68	45	57
141,25	62,50	4	56	38	48
113	50,00	5	45	30	38
254,25	112,50	6	101	68	86
282,5	125,00	7	113	75	95
310,75	137,50	8	124	83	105
339	150,00	9	135	90	114
195	100	10	110	85	0

De drie fracties werden met een speciale kunststofstrooier over de proefveldjes uitgestrooid (Figuur 86). Hierbij werd per proefveldje een exacte hoeveelheid kunstmest verdeeld zonder andere proefveldjes te beïnvloeden. De bemesting gebeurde op de volgende dagen: 21 maart 2018, 20 april 2018 en 14 mei 2018. Net voor iedere bemesting werd een dronevlucht met de Parrot Sequioa uitgevoerd om het perceel in kaart te brengen en dit op 19 maart 2018, 5 april 2018, 17 april 2018 en 17 mei 2018. Aan de hand van deze beelden werden vier verschillende plantparameters opgesteld.

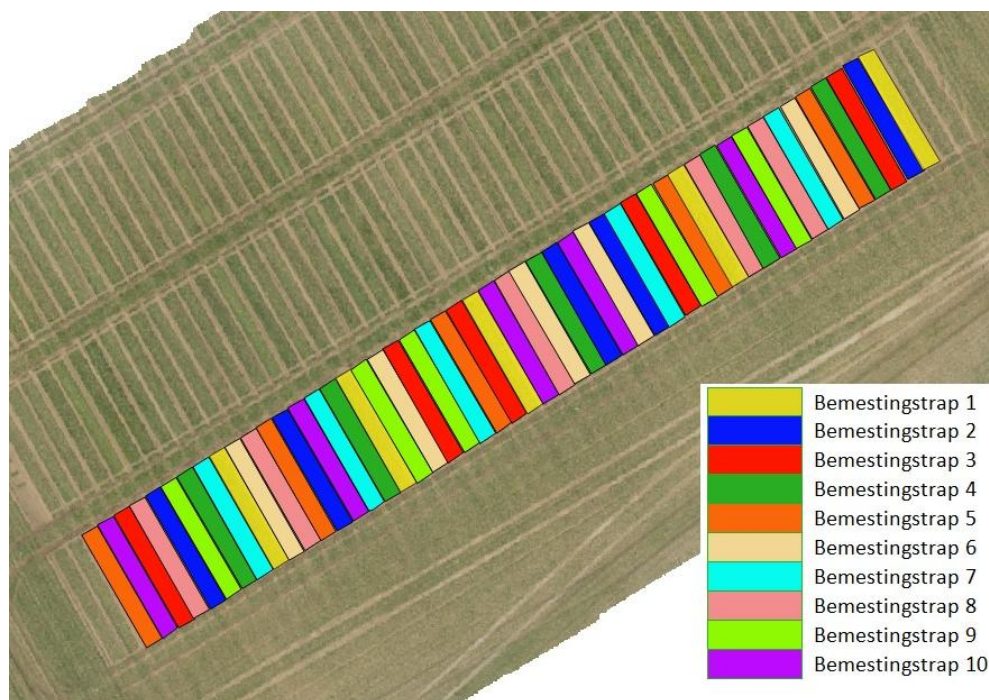


Figuur 86 Foto getrokken tijdens eerste bemesting op 21 maart 2018

Tabel 19 Overzicht van behandelingen uitgevoerd op tarweveld

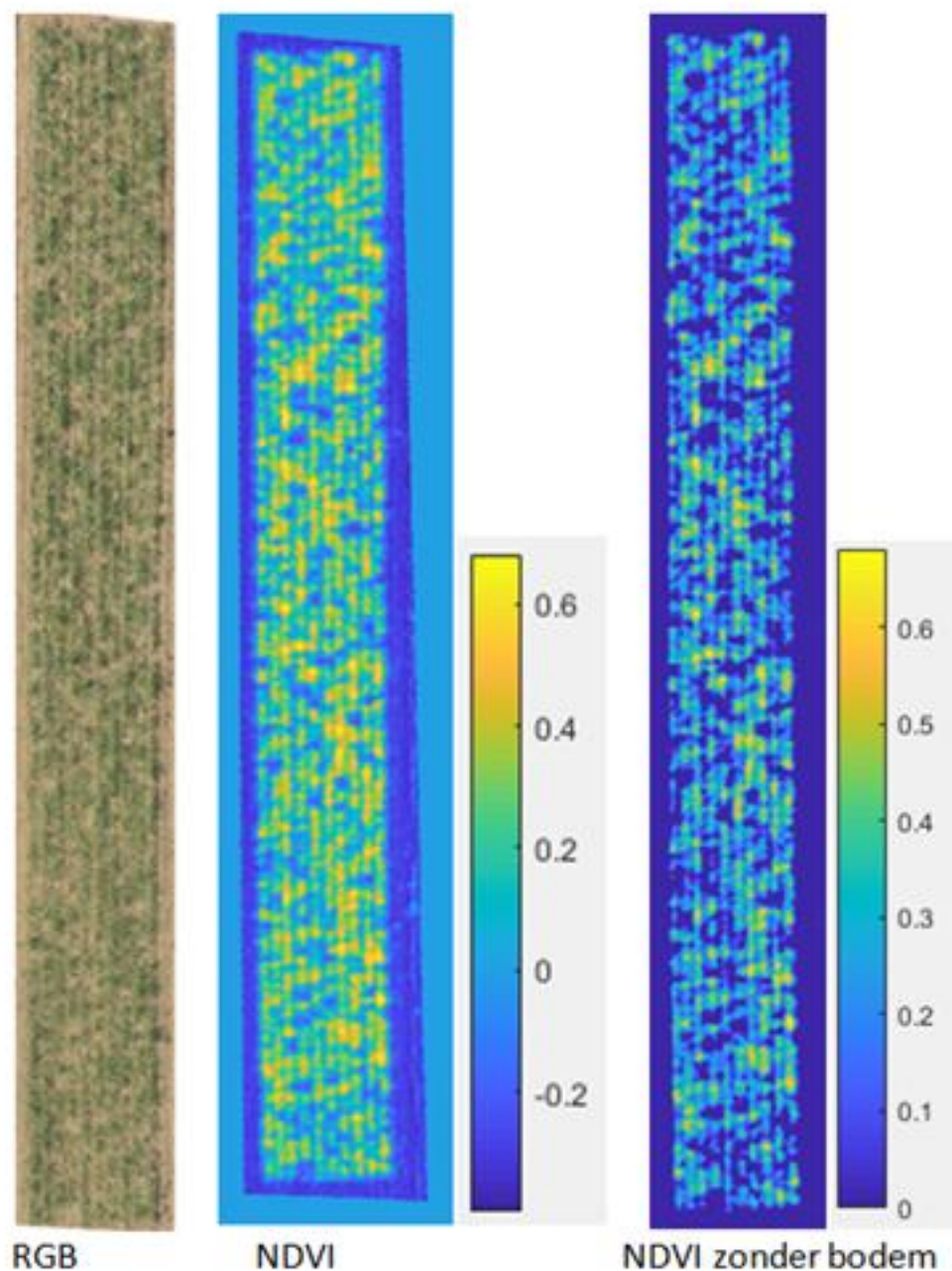
Bewerking	Datum
Zaai	20 oktober 2017
Bodemanalyse	15 februari 2018
Eerste dronevlucht	19 maart 2018
Eerste fractie	21 maart 2018
Tweede dronevlucht	5 april 2018
Derde dronevlucht	17 april 2018
Tweede fractie	20 april 2018
Derde fractie	14 mei 2018
Vierde dronevlucht	17 mei 2018
Verwachte oogst	Eind Juli – begin Augustus

De 50 proefveldjes liggen naast elkaar en werden opgesplitst in 5 groepen. Per groep werd iedere bemestingstrap eenmalig toegepast en dit willekeurig verdeeld (Figuur 87).



Figuur 87 RGB stitch van drone vlucht 19 maart 2018 waarbij alle bemestingstrappen aangeduid zijn in hetzelfde kleur

De verschillende dronevluchten werden allemaal via Agisoft (Agisoft, 1.4.2) gestitchted. Vervolgens werden de proefveldjes uitgeknipt en bijhorende parameters uitgerekend in Qgis (Qgis Development team, 2.18.16). Daarna werden de gegevens per proefveldje bepaald via Matlab (Mathworks Inc, 2018a) en opgeslagen in Excel (Microsoft Office, 2007) om dan de statistische verwerking in SPSS statistic (IBM, 25) uit te voeren. In het totaal werd dit voor de vier dronevluchten uitgevoerd en hierbij werden de parameters: NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI berekend. Door het gebruik van een 'mask' in Matlab (Mathworks Inc, 2018a) werden alle pixels kleiner dan nul verwijderd uit de proefveldjes en is er geen correctie nodig voor bodeminvloed (Figuur 88). Zo werd per proefveldje in de proef een gemiddelde, mediaan en standaard afwijking berekend (Bijlage 3) die gebruikt werden voor de statistische verwerking.



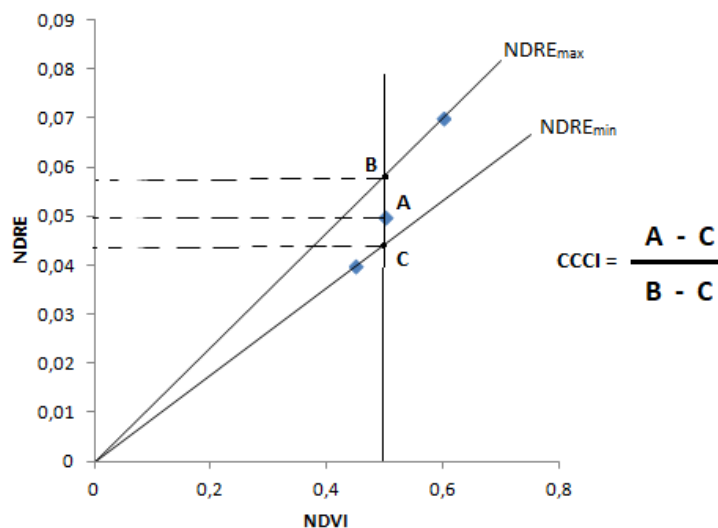
Figuur 88 Voorstelling van verwerkingsproces waarbij de negatieve waarden uit proefveldje 1 verwijderd worden op basis van dronevlucht 19 maart 2018

Eerst werd per parameters het verloop in tijd weergegeven voor iedere bemestingstrap. Vervolgens werd onderzocht vanaf wanneer er duidelijke verschillen zichtbaar waren op basis van de parameter waarden. Bij de statistische verwerking werd altijd op hetzelfde manier te werk gegaan. Hierbij werd een ANOVA uitgevoerd gevolgd door een post-hoc: Tukey test als de nulhypothese niet aanvaard werd met behulp van SPSS statistic (IBM, 25). De ANOVA werd uitgevoerd om na te gaan of er een verschil is tussen de bemestingstrappen voor de parameters. De post-hoc test werd gebruikt om bij een eventueel verschil, deze ook uit te lichten. Om deze verschillen in parameters te koppelen in bemestingsverschillen werd voor de vluchten van 5 en 17 april 2018 de eerste fractie als bemesting gebruikt. Bij de laatste drone vlucht werd de tweede fractie cumulatief in rekening gebracht. Omdat

naast het gemiddelde ook gewerkt kan worden met de mediaan wordt dit onderdeel herhaald voor de mediaan (Bijlage 4).

Verschillende bemestingsdosissen zorgen voor de verschillen in gewasparameters. Dit maakt het mogelijk om de relatie tussen de parameters en het bemestingsniveau na te gaan. Dit kan in de praktijk handig zijn om de tweede of derde fractie te baseren op de plantparameters, en binnenin het veld plaatsspecifiek te doseren. Hierbij is de stikstof in de bodem van belang en de eerste fractie. In het geval van deze proef bevat de bodem niet veel stikstof waardoor haar invloed beperkt is en deze zou enkel een kleine verschuiving veroorzaken van de grafiek. Met de gegevens voor 17 april 2018 en 17 mei 2018 wordt een lineaire regressie opgesteld en de correlatie bepaald.

Ten slotte werd nog gezocht naar andere plantparameter: Canopy chlorophyll content index of CCCI. Deze wordt in de literatuur aangenomen als een goede schatter voor stikstofbemesting. CCCI wordt berekend aan de hand van een verhouding van NDVI en NDRE waarop $NDRE_{min}$ en $NDRE_{max}$ bepaald worden. $NDRE_{min}$ en $NDRE_{max}$ zijn twee waarden die noodzakelijk zijn voor de berekening van CCCI en afhankelijk zijn van NDVI. Voorbeeld (Figuur 89): iedere waarde van NDVI komt overeen met een waarde van $NDRE = A$. Daarnaast wordt uit de hele dataset de twee punten bepaald die als ze in verbinding staan met de oorsprong alle datapunten bevatten, namelijk een maximumwaarde en een minimumwaarde. Dit kan visueel beoordeeld worden maar eenvoudiger is om van ieder punt een rechte te bepalen door de oorsprong en als maximum de grootste richtingscoëfficiënt en als minimum de laagste richtingscoëfficiënt te kiezen. Wanneer deze richtingscoëfficiënten vermenigvuldigd worden een bepaalde NDVI kunnen de waarden voor $NDRE_{min}$ en $NDRE_{max}$ bepaald worden.



Figuur 89 Grafische voorstelling van berekeningswijze CCCI

Van beide vluchten op 17 april 2018 en 17 mei 2018 worden de medianen van NDRE en NDVI met elkaar vergeleken en CCCI bepaald. Deze werkwijze werd ook uitgevoerd met de gemiddelden maar dit gaf een veel slechter resultaat (Bijlage 5). Om nu te onderzoeken of er tussen de verschillende bemestingstrappen wel degelijk een verschil is wordt een ANOVA uitgevoerd met significantieniveau 5%.

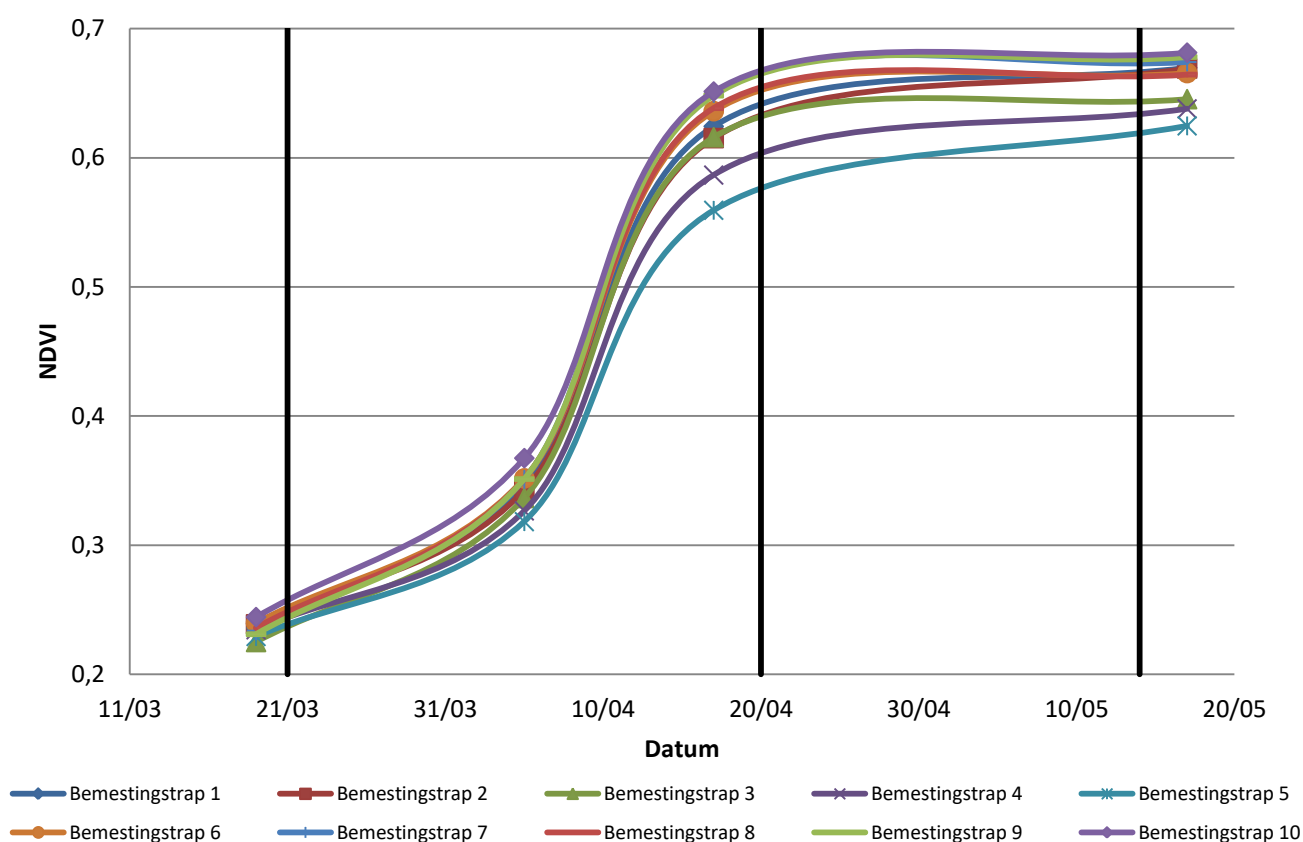
3.3 Resultaten

- Verandering in parameters gedurende de tijd

Om een schets te maken van het verloop werden de vijf proefveldjes per trap samengevoegd en per bemestingstrap opnieuw een gemiddelde, mediaan en standaard afwijking bepaald (Tabel 20 tot en met Tabel 23). Op basis van de gemiddelden per proefveldje werd een grafisch verloop opgesteld (Figuur 90 tot en met Figuur 93).

Tabel 20 Overzicht van resultaten voor parameter NDVI van iedere bemestingstrap

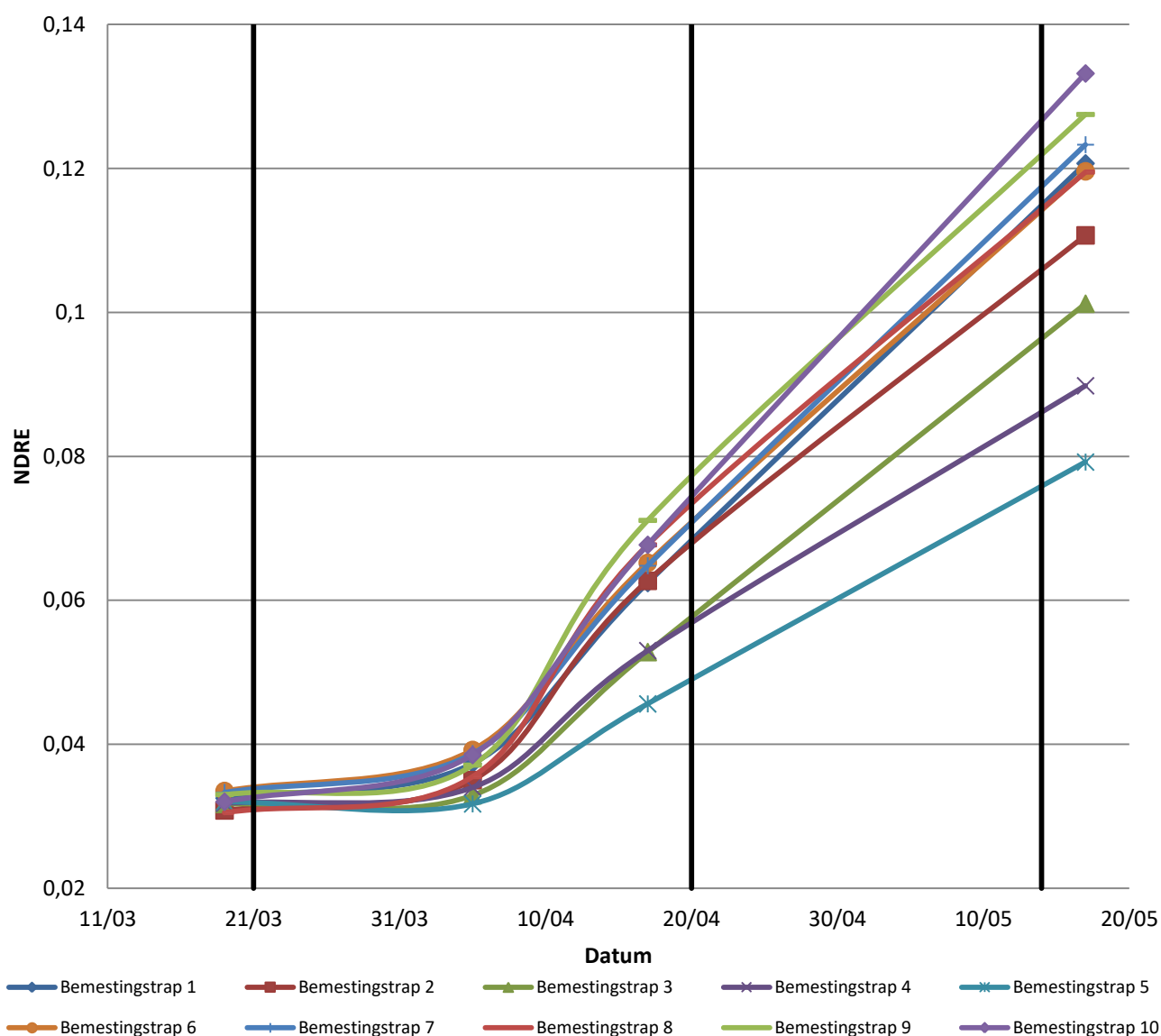
	19 maart 2018			5 april 2018			17 april 2018			17 mei 2018		
Trap	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std
1	0,2393	0,2315	0,1417	0,3476	0,3551	0,1716	0,6243	0,6927	0,2010	0,6697	0,7419	0,1924
2	0,2387	0,2306	0,1417	0,3425	0,3476	0,1720	0,6152	0,6782	0,1965	0,6691	0,7412	0,1939
3	0,2250	0,2143	0,1379	0,3365	0,3411	0,1694	0,6159	0,6804	0,1964	0,6454	0,7239	0,1979
4	0,2345	0,2259	0,1402	0,3265	0,3289	0,1698	0,5866	0,6464	0,1910	0,6379	0,7084	0,1914
5	0,2292	0,2199	0,1385	0,3182	0,3185	0,1677	0,5593	0,6159	0,1946	0,6247	0,6965	0,1935
6	0,2398	0,2313	0,1428	0,3517	0,3594	0,1740	0,6361	0,7041	0,1991	0,6656	0,7408	0,1957
7	0,2338	0,2243	0,1407	0,3509	0,3589	0,1705	0,6498	0,7193	0,2004	0,6741	0,7472	0,1993
8	0,2359	0,2282	0,1401	0,3511	0,3593	0,1722	0,6384	0,7078	0,1999	0,6644	0,7346	0,1847
9	0,2310	0,2220	0,1390	0,3512	0,3596	0,1702	0,6481	0,7207	0,2009	0,6780	0,7428	0,1823
10	0,2443	0,2378	0,1422	0,3674	0,3775	0,1738	0,6513	0,7216	0,1970	0,6814	0,7579	0,1924



Figuur 90 Verschil in gemiddelde NDVI tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen voorstellen

Tabel 21 Overzicht van resultaten voor parameter NDRE per bemestingstrap

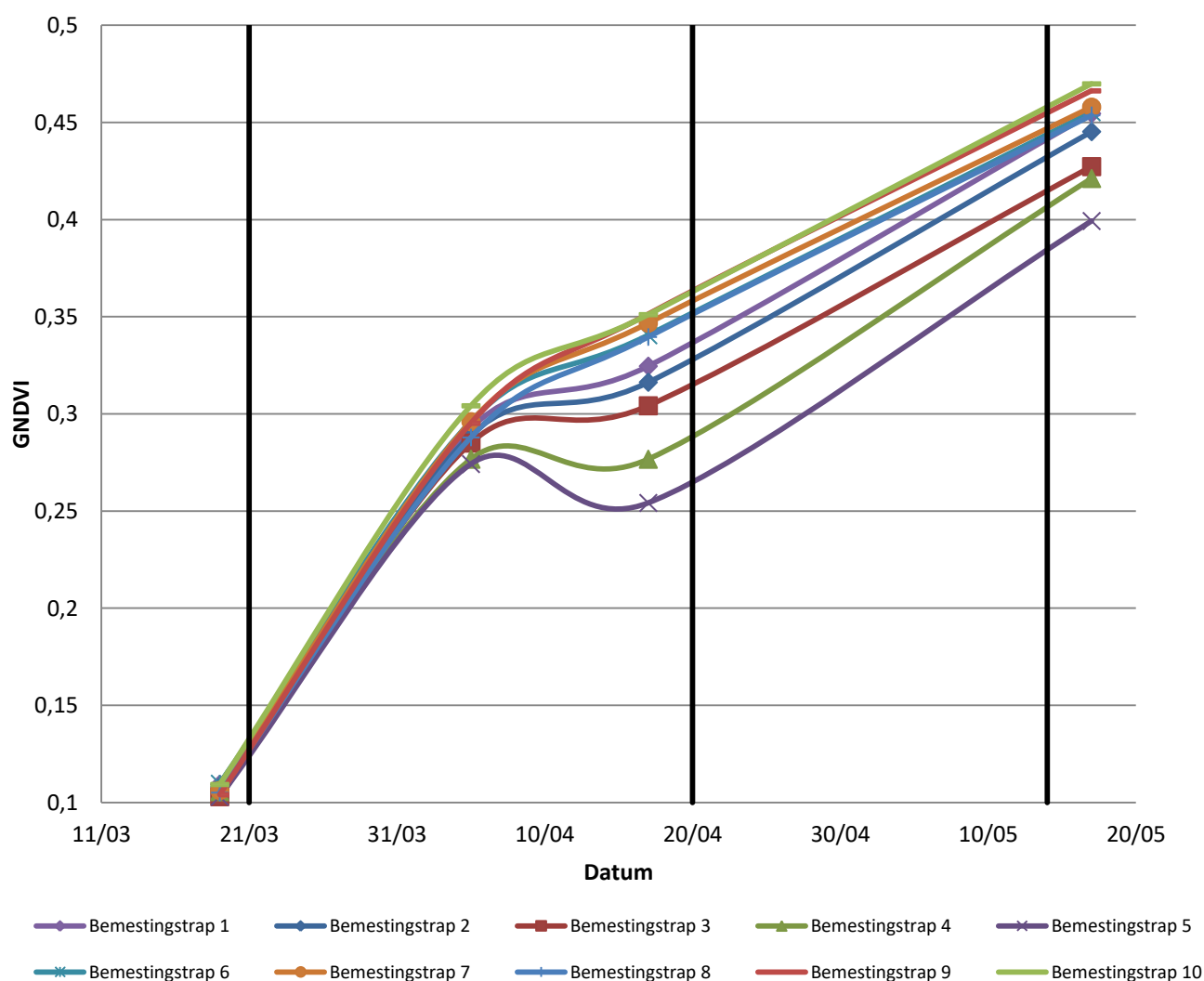
	19 maart 2018			5 april 2018			17 april 2018			17 mei 2018		
Trap	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std
1	0,0325	0,0266	0,0257	0,0373	0,0325	0,0268	0,0624	0,0537	0,0455	0,1207	0,1182	0,0617
2	0,0308	0,0254	0,0242	0,0350	0,0302	0,0257	0,0627	0,0529	0,0476	0,1107	0,1075	0,0604
3	0,0317	0,0259	0,0252	0,0329	0,0283	0,0242	0,0528	0,0442	0,0407	0,1012	0,0973	0,0580
4	0,0318	0,0262	0,0250	0,0340	0,0292	0,0250	0,0530	0,0452	0,0399	0,0898	0,0845	0,0539
5	0,0320	0,0263	0,0251	0,0317	0,0268	0,0238	0,0456	0,0375	0,0358	0,0792	0,0729	0,0505
6	0,0335	0,0278	0,0262	0,0392	0,0346	0,0278	0,0652	0,0563	0,0480	0,1196	0,1168	0,0643
7	0,0333	0,0340	0,0263	0,0387	0,0340	0,0274	0,0648	0,0560	0,0475	0,1233	0,1214	0,0643
8	0,0305	0,0251	0,0240	0,0355	0,0308	0,0256	0,0677	0,0585	0,0494	0,1195	0,1175	0,0628
9	0,0330	0,0270	0,0261	0,0371	0,0324	0,0266	0,0711	0,0635	0,0491	0,1275	0,1257	0,0657
10	0,0320	0,0264	0,0250	0,0385	0,0339	0,0273	0,0677	0,0585	0,0527	0,1332	0,1318	0,0694



Figuur 91 Verschil in gemiddelde NDRE tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen voorstellen

Tabel 22 Overzicht van resultaten voor parameter GNDVI per bemestingstrap

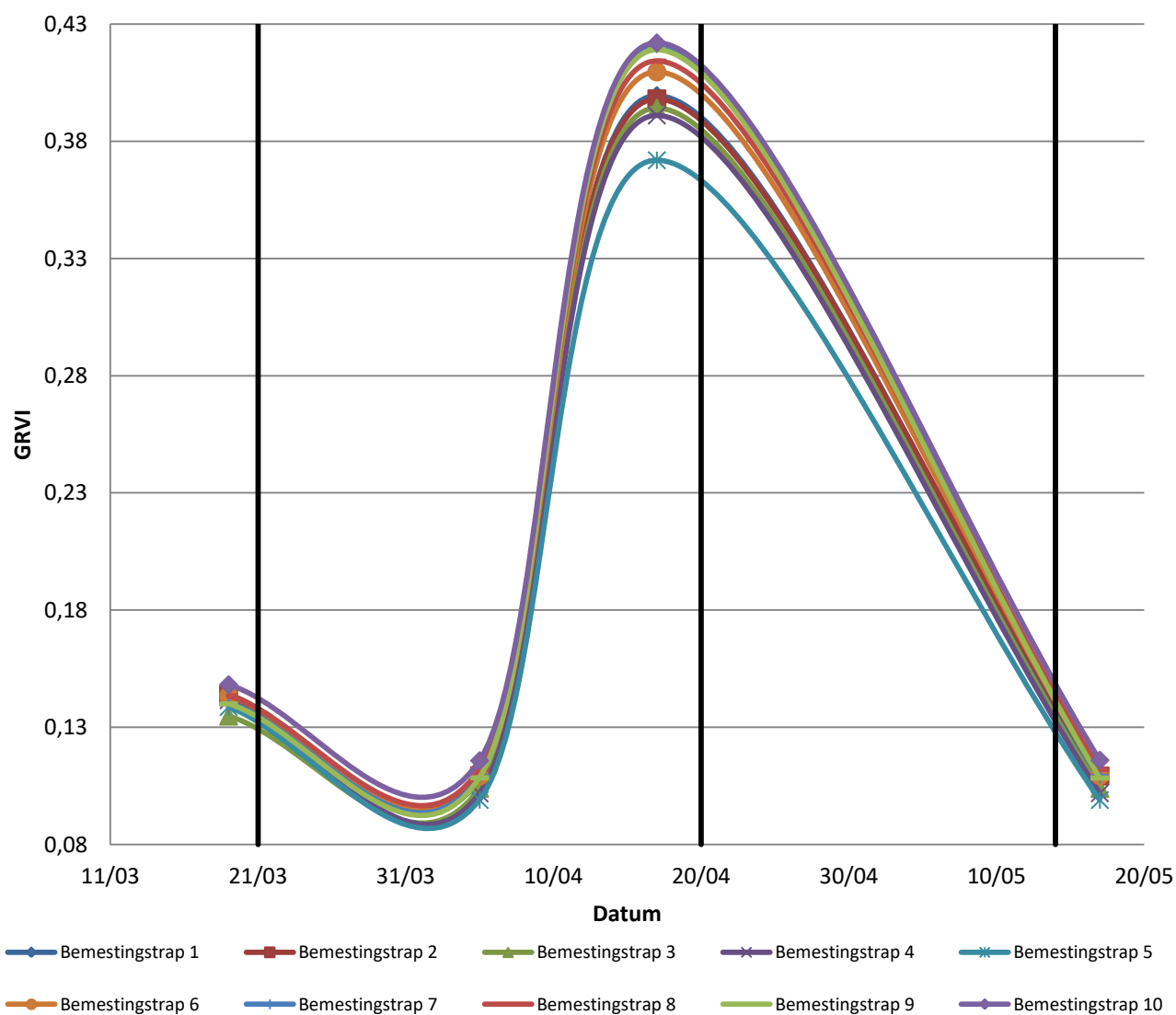
	19 maart 2018			5 april 2018			17 april 2018			17 mei 2018		
Trap	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std
1	0,1094	0,1004	0,0718	0,2926	0,3067	0,1313	0,3246	0,3433	0,1219	0,4546	0,5095	0,1582
2	0,1081	0,0996	0,0704	0,2891	0,3004	0,1265	0,3163	0,3319	0,120	0,4453	0,4974	0,1539
3	0,1030	0,0936	0,0688	0,2850	0,2951	0,1273	0,3042	0,3176	0,1172	0,4273	0,4816	0,1565
4	0,1056	0,0968	0,0695	0,2767	0,2867	0,1308	0,2767	0,2867	0,1144	0,4212	0,4687	0,1491
5	0,1030	0,0934	0,0687	0,2742	0,2821	0,1265	0,2542	0,2624	0,1079	0,3993	0,4418	0,1441
6	0,1097	0,1008	0,0719	0,2961	0,3088	0,1329	0,3405	0,3617	0,1253	0,4553	0,5139	0,1614
7	0,1062	0,0968	0,0703	0,2960	0,3093	0,1264	0,3467	0,3677	0,1233	0,4579	0,5185	0,1646
8	0,1051	0,0965	0,0690	0,2879	0,3009	0,1311	0,3396	0,3611	0,1259	0,4537	0,5089	0,1546
9	0,1040	0,0948	0,0691	0,2952	0,3098	0,1294	0,3513	0,3769	0,1249	0,4663	0,5211	0,1553
10	0,1093	0,1011	0,0706	0,3042	0,3176	0,1304	0,3511	0,3757	0,1257	0,4699	0,5310	0,1617



Figuur 92 Verschil in gemiddelde GNDVI tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen zijn

Tabel 23 Overzicht van resultaten voor parameter GRVI per bemestingstrap

	19 maart 2018			5 april 2018			17 april 2018			17 mei 2018		
Trap	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std
1	0,1426	0,1352	0,0878	0,1078	0,0971	0,0743	0,3995	0,4505	0,1646	0,1078	0,0971	0,0742
2	0,1440	0,1361	0,0885	0,1094	0,0990	0,0745	0,3981	0,4400	0,1556	0,1093	0,0987	0,0746
3	0,1348	0,1259	0,0850	0,1040	0,0925	0,0725	0,3942	0,4400	0,1616	0,1040	0,0927	0,0725
4	0,1416	0,1336	0,0877	0,1018	0,0906	0,0709	0,3910	0,4321	0,1647	0,1019	0,0907	0,0711
5	0,1387	0,1305	0,0863	0,0990	0,0872	0,0704	0,3719	0,411	0,1585	0,0990	0,0873	0,0705
6	0,1435	0,1355	0,0886	0,1093	0,0993	0,0735	0,4096	0,4537	0,1572	0,1094	0,0995	0,0736
7	0,1405	0,1319	0,0872	0,1099	0,1008	0,0735	0,4213	0,4725	0,1634	0,1098	0,1007	0,0734
8	0,1434	0,1360	0,0882	0,1122	0,1025	0,0749	0,4142	0,4597	0,1579	0,1121	0,1024	0,0749
9	0,1400	0,1322	0,0865	0,1085	0,0987	0,0733	0,419	0,4670	0,0158	0,1084	0,0986	0,0733
10	0,1482	0,1416	0,0893	0,1158	0,1062	0,0771	0,422	0,4701	0,1554	0,1160	0,1065	0,0771



Figuur 93 Verschil in gemiddelde GRVI tussen verschillende bemestingstrappen waarbij de zwarte verticale lijnen de bemestingen zijn

- **Vergelijking tussen parameters en onderscheidend vermogen in stikstofbemesting**

In Tabel 24 worden de resultaten gegeven voor de parameters op 19 maart. Hierbij is er nog geen bemesting uitgevoerd en zouden er geen verschillen mogen zijn om de bemestingsproef correct uit te voeren.

Tabel 24 Resultaat van ANOVA op basis van beelden van 19 maart met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen

Parameter	F-waarde	p-waarde	Conclusie
NDVI	1,278	0,279	H ₀ aanvaarden
NDRE	0,932	0,508	H ₀ aanvaarden
GNDVI	0,712	0,695	H ₀ aanvaarden
GRVI	0,956	0,490	H ₀ aanvaarden

Voor 5 april wordt Tabel 25 bekomen na het uitvoeren van de ANOVA. Deze dronevlucht is na de eerste bemesting gevlogen waardoor verschillen tussen de bemestingstrappen te wijten zijn aan een verschil in eerste fractie.

Tabel 25 Resultaten van ANOVA op basis van beelden van 5 april met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen

Parameter	F-waarde	p-waarde	Conclusie
NDVI	6,301	<0,0005	H ₀ verwerpen
NDRE	2,581	0,019	H ₀ verwerpen
GNDVI	4,011	0,001	H ₀ verwerpen
GRVI	4,481	<0,0005	H ₀ verwerpen

Aangezien de nulhypothese verworpen wordt, zijn duidelijke verschillen terug te vinden op 5 april. Aan de hand van de Tukey posthoc-test (SPSS statistic) kunnen de verschillen achterhaald worden (Tabel 26). Iedere trap krijgt een letter toegewezen, tussen alle trappen met dezelfde letter zijn er geen significante verschillen. Voorbeeld: in Tabel 26 krijgt bemestingstrap 5 de letter 'a' toegekend, dit wil zeggen dat trap 5 gelijk is aan alle andere trappen met letter 'a' met p-waarde = 0,099. Maar trap 5 is significant verschillend voor alle trappen zonder de letter 'a'. De p-waarde duidt hier op het verschil binnen de trappen met dezelfde letter. Hoe kleiner de p-waarde, hoe groter de verschillen tussen de trappen worden. Wel moet opgemerkt worden dat hier een bonferroni-correctie van kracht is waardoor het nieuwe significantieniveau 0,005 is.

Tabel 26 Resultaat voor NDVI 5 april van Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)			
1	90		b	c
2	78,75	a	b	c
3	67,5	a	b	
4	56,25	a	b	
5	45	a		
6	101,25		b	c
7	112,5		b	c
8	123,75		b	c
9	135		b	c
10	110			c
p-waarde		0,099	0,078	0,086

Dit zelfde werd berekend voor NDRE (Tabel 27). Hier wordt een tegenstrijdig resultaat bekomen. De ANOVA duidt op verschillen terwijl de posthoc-test geen verschillende groepen detecteert. Dit komt doordat Tukey posthoc rekening houdt met correcties door de vele vergelijkingen. Andere posthoc testen zullen hetzelfde resultaat opleveren met zelfs een groter p-waarde.

Tabel 27 Resultaat voor NDRE 5 april van Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)	
1	90	a
2	78,75	a
3	67,5	a
4	56,25	a
5	45	a
6	101,25	a
7	112,5	a
8	123,75	a
9	135	a
10	110	a
p-waarde		0,061

In Tabel 28 en Tabel 29 worden terug drie groepen bekomen voor GNDVI en GRVI.

Tabel 28 Resultaat voor GNDVI 5 april van Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)			
1	90	a	b	c
2	78,75	a	b	c
3	67,5	a	b	c
4	56,25	a	b	
5	45	a		
6	101,25		b	c
7	112,5		b	c
8	123,75	a	b	c
9	135	a	b	c
10	110			c
p-waarde		0,063	0,115	0,128

Tabel 29 Resultaat voor GRVI 5 april van Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)			
1	90	a	b	c
2	78,75	a	b	c
3	67,5	a	b	
4	56,25	a	b	
5	45	a		
6	101,25	a	b	c
7	112,5	a	b	c
8	123,75		b	c
9	135	a	b	c
10	110			c
p-waarde		0,061	0,082	0,280

Net voor de tweede bemestingsfractie uitgevoerd werd, werd opnieuw het perceel in kaart gebracht. In een eerste benadering zien we dat er bij iedere parameters verschillen te vinden zijn tussen de bemestingstrappen (Tabel 30).

Tabel 30 Resultaten van ANOVA op basis van beelden 17 april 2018 met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen

Parameter	F	p-waarde	Conclusie
NDVI	20,556	<0,0005	H ₀ verwerpen
NDRE	3,940	0,001	H ₀ verwerpen
GNDVI	16,106	<0,0005	H ₀ verwerpen
GRVI	8,285	<0,0005	H ₀ verwerpen

Tabel 31 heeft de resultaten weer voor NDVI. Hierbij kunnen de bemestingstrappen met lagere bemesting duidelijk onderscheiden worden van de hogere bemesting.

Tabel 31 Resultaat voor NDVI op 17 april voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)				
1	90			c	d
2	78,75		b	c	
3	67,5		b	c	
4	56,25	a	b		
5	45	a			
6	101,25			c	d
7	112,5				d
8	123,75			c	d
9	135				d
10	110				d
p-waarde		0,130	0,084	0,318	0,142

Voor NDRE is het onderscheid niet zo duidelijk waardoor slechts de proefveldjes waar er minder bemest te onderscheiden zijn van de rest (Tabel 32).

Tabel 32 Resultaat voor NDRE op 17 april voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)		
1	90	a	b
2	78,75	a	b
3	67,5	a	b
4	56,25	a	b
5	45	a	
6	101,25		b
7	112,5		b
8	123,75		b
9	135		b
10	110		b
p-waarde		0,116	0,073

Voor GNDVI wordt het zelfde resultaat als voor NDVI bekomen maar er wordt een grote p-waarde verkregen (Tabel 33) per groep.

Tabel 33 Resultaat voor GNDVI op 17 april voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)				
1	90			c	d
2	78,75			c	d
3	67,5		b	c	
4	56,25	a	b		
5	45	a			
6	101,25			c	d
7	112,5				d
8	123,75			c	d
9	135				d
10	110				d
p-waarde		0,651	0,389	0,092	0,118

In Tabel 34 worden de resultaten voor GRVI gegeven. Hier valt op dat het onderscheid tussen de verschillende trappen niet logisch is. Dit maakt GRVI de parameter die het minste onderscheid maakt tussen de verschillende bemestingstrappen.

Tabel 34 Resultaat voor GRVI op 17 april voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)				
1	90		b	c	d
2	78,75	a	b	c	d
3	67,5	a	b	c	
4	56,25	a	b		
5	45	a	b		
6	101,25		b	c	d
7	112,5				d
8	123,75		b	c	d
9	135			c	d
10	110				d
p-waarde		0,056	0,137	0,085	0,102

Hetzelfde werd uit gevoerd voor de laatste dronevlucht op 17 mei 2018. Hierbij is de derde fractie al toegepast op 14 mei 2018. Maar doordat er in die enkele dagen geen regenval was, kan de invloed van de laatste fractie verwaarloosd worden. Het resultaat voor GRVI is opmerkelijk, we kunnen stellen dat er geen verschil tussen de bemestingstrappen terug te vinden is voor GRVI (Tabel 35).

Tabel 35 Resultaten van Anova test op basis van beelden 17 mei 2018 met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen

Parameter	F	p-waarde	Conclusie
NDVI	5,505	<0,0005	H ₀ verwerpen
NDRE	62,095	<0,0005	H ₀ verwerpen
GNDVI	11,548	<0,0005	H ₀ verwerpen
GRVI	1,362	0,238	H ₀ aanvaarden

Tabel 36 is het resultaat van de Tukey posthoc-test voor NDVI, hierbij valt op dat er minder verschillende groepen te onderscheiden zijn dan de dronevlucht van 17 april.

Tabel 36 Resultaat voor NDVI op 17 mei voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Bemesting (kg N/ha)			
1	150		b	c
2	131,25		b	c
3	112,5	a	b	c
4	93,75	a	b	
5	75	a		
6	168,75		b	c
7	187,5		b	c
8	206,25		b	c
9	225			c
10	195			c
p-waarde		0,723	0,068	0,066

Hetzelfde werd uitgevoerd voor NDRE, waarbij meer duidelijke verschillen opmerkbaar zijn. Waarbij enkele bemestingstrappen apart te onderscheiden zijn van de rest (Tabel 37).

Tabel 37 Resultaat voor NDRE op 17 mei voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Bemesting (kg N/ha)						
1	150			d	e		
2	131,25			d			
3	112,5		c				
4	93,75		b	c			
5	75	a					
6	168,75			d	e		
7	187,5				e	f	
8	206,25			d	e		
9	225				e	f	
10	195					f	
p-waarde		1	1	0,105	0,061	0,265	0,072

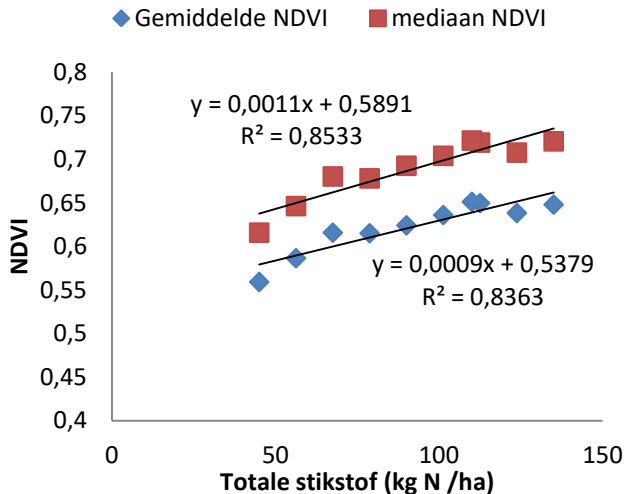
GNDVI bekomt ongeveer hetzelfde resultaat als NDVI maar hier blijft het verschil wat groter dan NDVI (Tabel 34).

Tabel 38 Resultaat voor GNDVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test

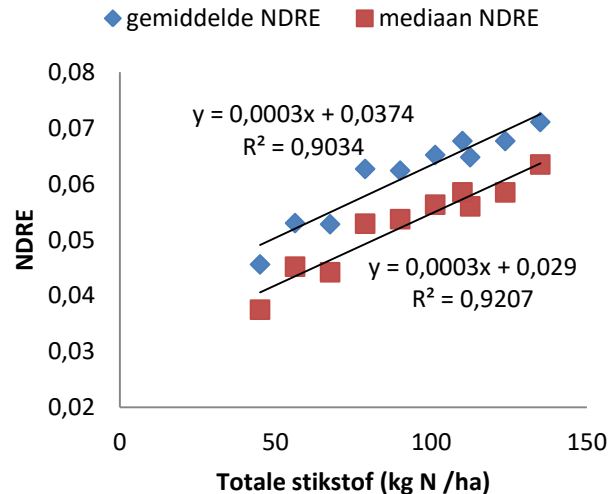
Bemestingstrap	Bemesting (kg N/ha)				
1	150			c	d
2	131,25		b	c	d
3	112,5	a	b	c	
4	93,75	a	b		
5	75	a			
6	168,75			c	d
7	187,5			c	d
8	206,25			c	d
9	225				d
10	195				d
p-waarde		0,110	0,252	0,054	0,239

- **Verhouding tussen parameter en bemestingsniveau**

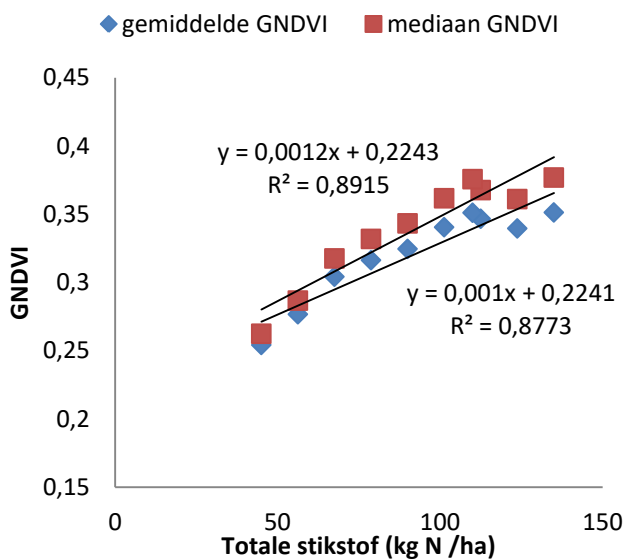
Op basis van de resultaten bekomen op 17 april worden verschillende plantparameters vergeleken met de bemesting van de eerste fractie (Figuur 94 tot en met Figuur 97).



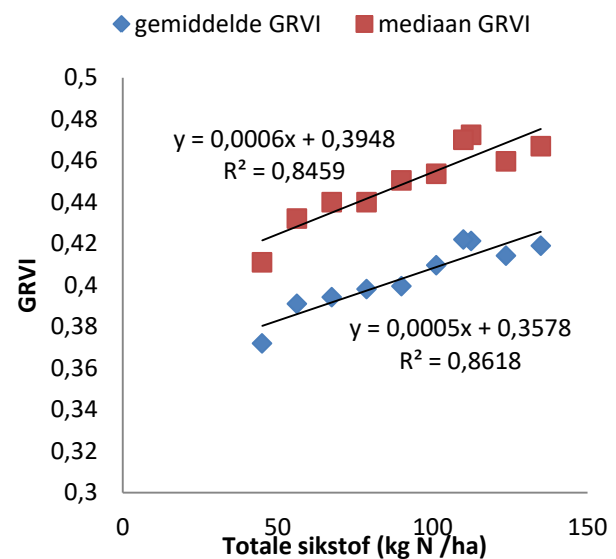
Figuur 94 Verhouding tussen NDVI 17 april en bemesting



Figuur 95 Verhouding tussen NDRE 17 april en bemesting



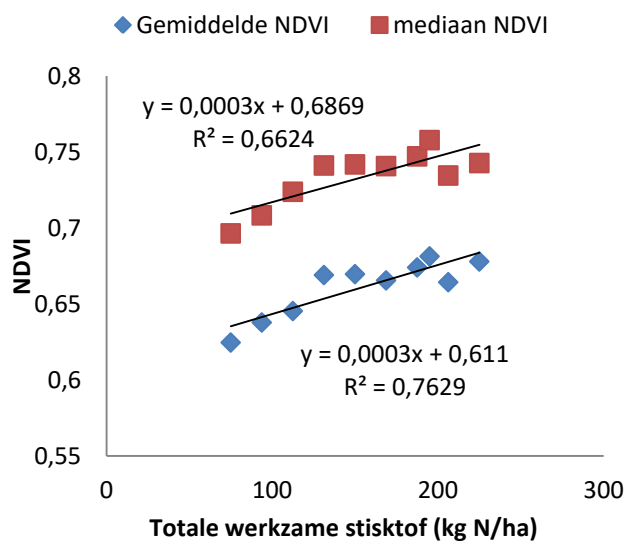
Figuur 96 Verhouding tussen GNDVI 17 april en bemesting



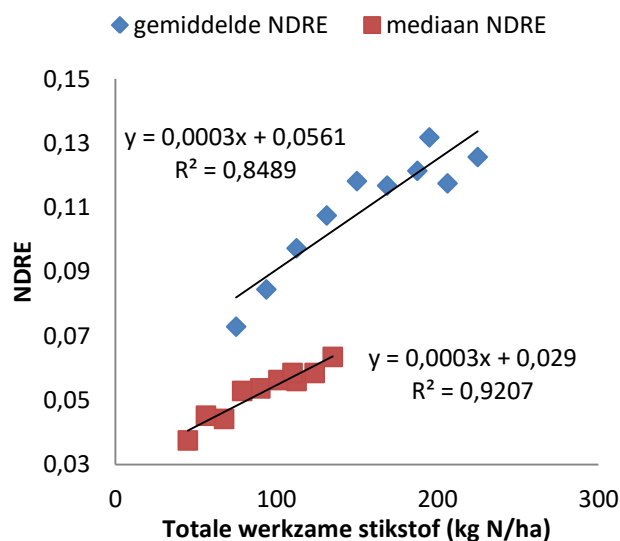
Figuur 97 Verhouding tussen GRVI 17 april en bemesting

Er werd een goede correlatie van meer dan 0,80 bekomen voor de verschillende parameters en de bemesting (Figuur 94 tot Figuur 97). Uit de regressierechte (bv. $y = 0,0011x + 0,5891$, Figuur 94) kan de bemesting (55 kg N) afgeleid worden op basis van de waarde van de parameter (bv. mediaan NDVI, Figuur 94).

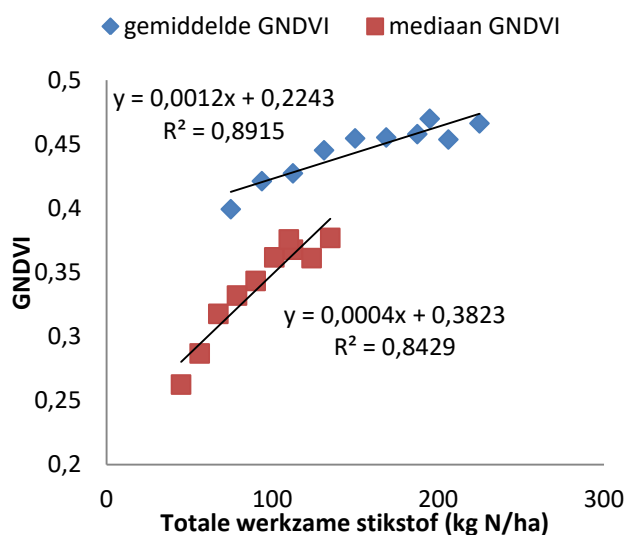
Hetzelfde wordt nu uitgevoerd voor de vlucht van 17 mei 2018 met Figuur 98 tot en met Figuur 101 als resultaat.



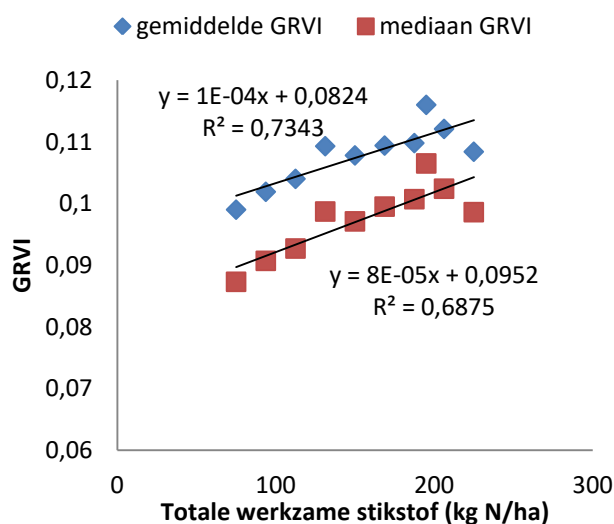
Figuur 98 Verhouding tussen NDVI 17 mei en bemesting



Figuur 99 Verhouding tussen NDRE 17 mei en bemesting



Figuur 100 Verhouding tussen GNDVI 17 mei en bemesting



Figuur 101 Verhouding tussen GRVI 17 mei en bemesting

- **Opstelling van CCCI**

In Tabel 39 wordt het resultaat weergegeven van ANOVA voor ICC. Hierbij valt op dat slechts bij de vlucht van 17 mei 2018 een verschil tussen de bemestingstrappen op te merken zijn. Deze verschillen worden verduidelijkt in Tabel 40.

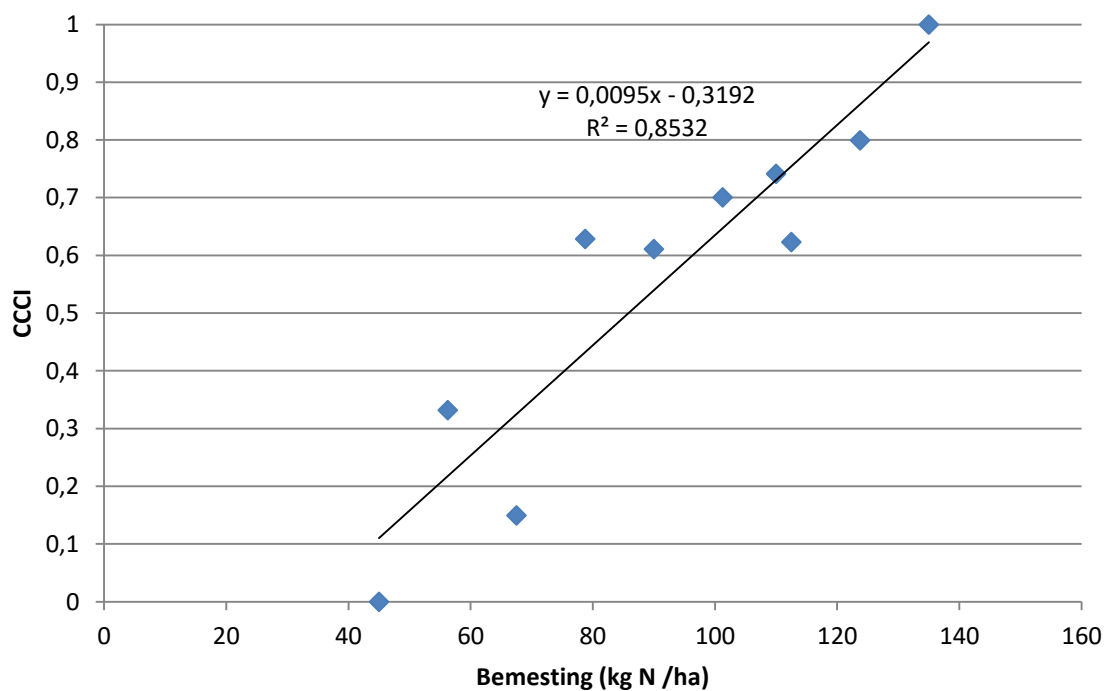
Tabel 39 Resultaat voor ANOVA voor CCCI met nulhypothese = geen verschil tussen de bemestingstrappen

Datum	F	p-waarde	
17 april 2018	1,644	0,136	Nulhypothese aanvaarden
17 mei 2018	58,328	<0,0005	Nulhypothese verwerpen

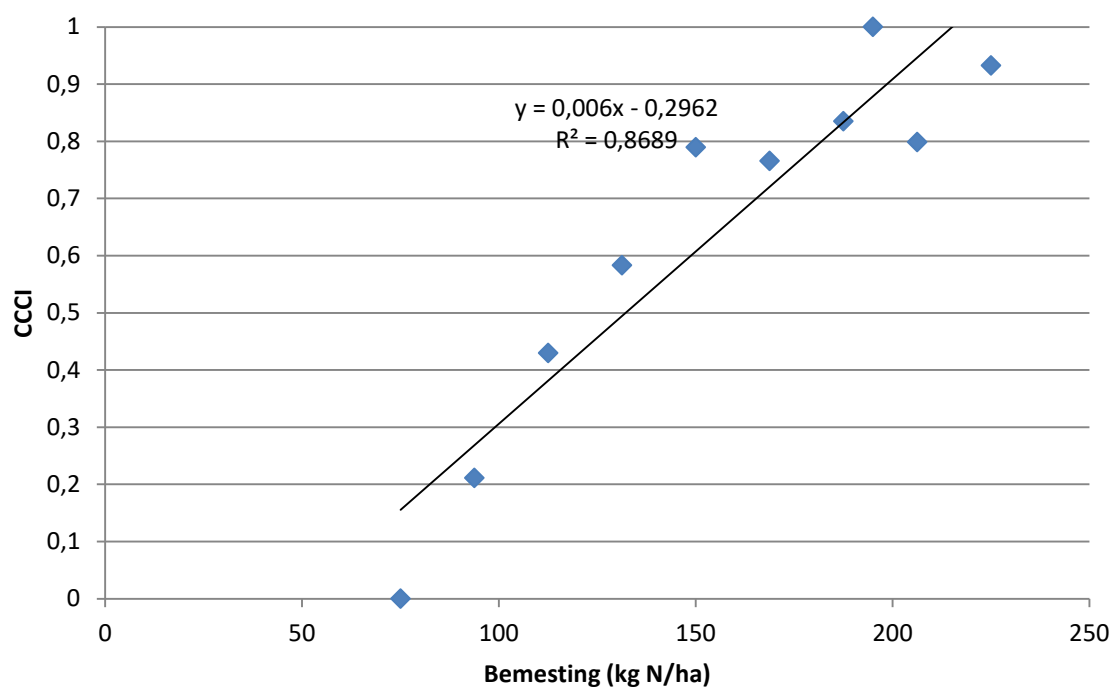
Tabel 40 Resultaat van posthoc: Tukey posthoc-test voor CCCI op 17 mei 2018

Trap	Bemesting (kg N/ha)						
1	150 e						
2	131,25		c		d		
3	112,5		c				
4	93,75		b				
5	75		a				
6	168,75				d		e
7	187,5				e		f
8	206,25				e		
9	225				e		f
10	195				f		
p-waarde	1	1	0,35	0,074	0,213	0,147	

Uit Tabel 40 worden duidelijke verschillen zichtbaar tussen de bemestingstrappen. Zo kunnen verschillende bemestingstrappen uit de proef onderscheiden worden.



Figuur 102 Relatie tussen CCCI en stikstofbemesting op basis van dronevlucht 17 april 2018



Figuur 103 Relatie tussen CCCI en stikstofbemesting op basis van dronevlucht 17 mei 2018

3.4 Bespreking

- **Verandering in parameters gedurende de tijd**

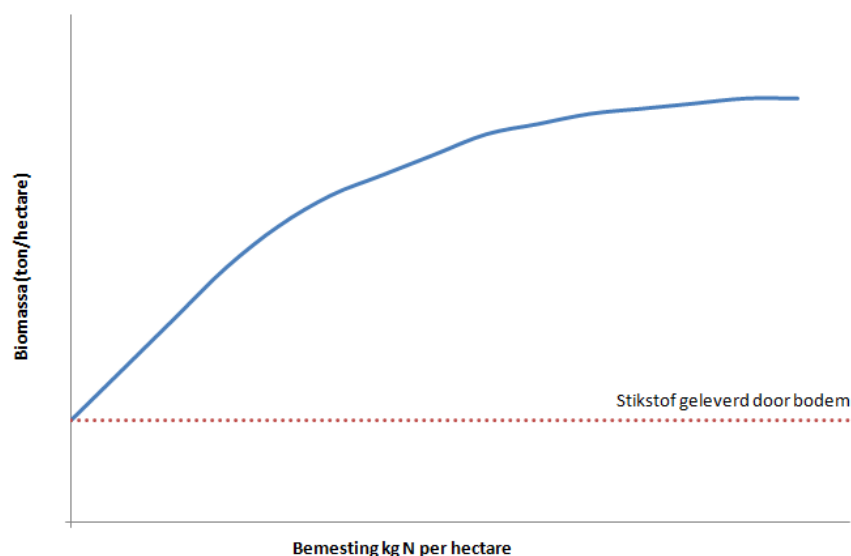
Wanneer Figuur 90 tot en met Figuur 93 bestuderen, valt er op dat alle bemestingstrappen op hetzelfde niveau beginnen. Maar rond midden april wordt bij NDVI opgemerkt dat de bemestingstrappen grotere verschillen aannemen. Maar dit is slechts een tijdelijke verandering en verkleinen de verschillen in de tijd. Het terug kleiner worden van de verschillen tussen de bemestingstrappen kan te wijten zijn aan verzadiging van het beeld door een grotere LAI. Bij de groei neemt de LAI van wintertarwe toe, waardoor de NDVI minder betrouwbaar wordt. GNDVI die een variant is op NDVI ondergaat dezelfde trend maar rond midden april, wanneer het verschil het grootst is, dalen de twee laatste bemestingstrappen in waarde. Voor de berekening van GNDVI wordt gebruikt gemaakt van de groene band. Dit is een kleinere golflengte dan rode band waardoor de kans op verzadiging groter wordt. In tegenstelling tot NDVI ondergaat NDRE een veel kleinere verspreiding qua waarden, maar de verschillen nemen wel toe in de tijd. Wanneer de curve van GRVI bekeken wordt, valt direct op dat deze zeer bijzonder is. Zo worden de waarden van GRVI groter en vervolgens weer kleiner wat zorgt voor een golvend effect van de grafiek. Dit zou eventueel te wijten kunnen zijn aan weersomstandigheden waardoor het groen licht meer gescatterd wordt. Ook is het opmerkelijk dat de bemestingstrappen slechts zeer weinig van elkaar verschillen.

- **Vergelijking tussen parameters en onderscheidend vermogen in stikstofbemesting**

De eerste dronevlucht gebeurde net voor de eerste bemesting en na het uitvoeren van statistische testen is er geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen. Hierdoor kunnen we concluderen dat het veld homogeen is en geschikt voor een bemestingsproef.

Wanneer de verschillende bemestingstrappen per parameter met elkaar vergeleken worden kunnen enkel verschillen opgemerkt worden. Maar deze verschillen zijn echter nog niet zo groot. Wel ligt NDVI het dichtst bij de verwachte situatie, nl. dat na bemesting op 21 maart 2018 twee weken later op 5 april 2018 een verschil in NDVI zichtbaar is bij een verschil in stikstofbemesting van ongeveer 45 eenheden indien alle stikstof toen al opgenomen was.

Als de beelden van 17 april bestuderen, bijna 1 maand na bemesten, zijn er duidelijke verschillen zichtbaar in de parameters. Waarbij NDVI het meest duidelijk en GRVI het minst duidelijk verschillen aantoon. Wel moet er rekening gehouden worden dat per bemestingstrap slecht 11 kg N per hectare verschil is en niet alle stikstof die bemest werd benut is. Hierdoor zijn de verschillen niet extreem duidelijk zijn. Maar de verschillen zijn wel het best zichtbaar bij een geringe bemesting. Bij de hogere bemestingstrappen kunnen de verschillen niet zo eenvoudig gezien worden. Dit komt doordat de tarwe slechts de stikstof opneemt die het nodig heeft. Een hoger bemestingsniveau zal zorgen voor een hogere opname maar door limiterende groei zal de opname van stikstof beperkt worden wat leidt tot een typische afgeplatte curve (Figuur 104). Wel kunnen duidelijk verschillen gezien worden tussen de extremen maar deze waren ook al zichtbaar met het blote oog (Figuur 105).



Figuur 104 Schematische voorstelling van limiterend invloed van stikstof op biomassa



Figuur 105 Foto getrokken op 3 mei 2018 van het wintertarwe perceel; links bemestingstrap 8 en rechts bemestingstrap 5

Wanneer de resultaten van ANOVA voor de beelden van 17 in Tabel 35 bestudeerd worden zijn zoals verwacht worden overal verschillen opgemerkt behalve bij GRVI. Zoals al aangegeven bij het verloop van GRVI in de tijd worden de verschillen terug kleiner. Ook valt op dat de toetsingsgrootte van NDVI van $F = 20,556$ naar $F = 5,505$ gaat en de verschillen tussen de bemestingstrappen kleiner zullen zijn. Wat duidelijk te zien is Tabel 31. Bij NDRE is dit net omgekeerd en stijgt de toetsingsgrootte van $F = 3,940$ naar $F = 62,095$ en dus ook het verschil tussen de groepen. In Tabel 37 valt dit duidelijk op. De bemestingstrappen 5 en 4 kunnen elk apart gedetecteerd worden. Tussen Bemestingstrappen 3 en 4 is het verschil net niet groot genoeg om bemestingstrap 3 te kunnen onderscheiden (p -waarde = 0,105). Verder kan een groep opgemaakt worden met bemestingsniveau rond de referentie bemesting (bemestingstrap 1) en een groep met hogere bemesting. Bij de overbemesting zijn de verschillen duidelijk minder zichtbaar dan bij de onderbemesting. Dit is te

verklaren doordat de opname van stikstof beperkt wordt door andere factoren en een overbemesting niet altijd leidt tot een grotere opname van stikstof. Voor GNDVI wordt hetzelfde bekomen als NDVI maar bij de GNDVI worden de verschillen niet zo klein als NDVI en kan er nog een groter onderscheid gemaakt worden. Na de dronevlucht van 17 mei 2018 kan er dus geconcludeerd worden dat NDRE de beste parameter is. NDVI verliest aan waarde door het verkleinen van het onderscheidend vermogen door de stijgende biomassa van de plant. GNDVI heeft hiervan minder last, maar gaat eveneens achteruit. Wanneer parameter GRVI bestudeerd wordt, kan besloten worden dat deze parameter weinig informatie oplevert in deze proef.

Wanneer we dit herhalen op basis van de mediaan per proefveldje in plaats van het gemiddelde worden dezelfde resultaten teruggevonden (Bijlage 4). Maar anders dan bij het gemiddelde is bij de parameter GRVI grotere verschillen zichtbaar, maar blijven deze te klein voor een verder gebruik.

Na deze proef blijkt dat de beste manier om de verschillen tussen bemestingstrappen waar te nemen dit aan de hand van de parameters NDVI en NDRE is. Hierbij zal in vroeg stadium de NDVI het snelst verschillen aantonen. Maar bij een hogere LAI zal deze dit verschil minder goed duidelijk zijn door verzadiging van het beeld. Daarom wordt vanaf een hogere LAI het gebruik van NDRE aangeraden. NDRE wordt berekend aan de hand van het chlorofyl gehalte wat bij grotere planten hoger zal liggen dan bij kleinere en afhankelijk is van het stikstofniveau.

- **Verhouding tussen parameter en bemestingsniveau**

Voor beide dronevluchten wordt een hoge correlatie bekomen tot zelfs 0,92 (Figuur 95). Er kan dus aan de hand van de plantparameters een bemestingsschema opgesteld worden. Dit maakt het dus mogelijk om een algoritme op te stellen voor variabele bemesting. Door een inschatting te maken van de aanwezige stikstof kan in geschat worden of er een hogere bemesting nodig is.

- **Opstelling van CCCI**

Wanneer de CCCI opgesteld werd voor 17 april 2018, werden geen significante verschillen tussen de bemestingstrappen teruggevonden. Maar voor de vlucht van 17 mei 2018 zijn er wel significante verschillen op te merken tussen de bemestingstrappen. Zo kan aan de hand van de CCCI de bemestingstrappen onderscheiden worden. Wel valt op dat het onderscheid maken tussen de bemestingstrappen waar onderbemest werd eenvoudiger is dan bij de overbemesting. Dit kan verklaard worden door het niet optimaal benutten van de aanwezige stikstof. Daarnaast wordt ook een correlatie van 0,87 (Figuur 103) gevonden. De bekomen regressie recht kan dus ook gebruikt worden voor een variabele stikstofbemesting.

Wel moet er opgemerkt worden dat CCCI tussen de verschillende vluchten niet met elkaar vergeleken kan worden. Plantparameters zoals NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI zijn genormaliseerd. Dit houdt in dat de parameters geconformeerd zijn aan een norm. Zo worden enkel waarden bekomen tussen -1 en 1. Voor CCCI is dit niet het geval en liggen de waarden tussen 0 en 1 voor beide vluchten.

4 Prei

4.1 Inleiding

Een perceel van een landbouwer in Merelbeke (Figuur 106), waar prei geteeld wordt, kende veel variatie in groei. De reden voor deze variatie is voorlopig onbekend en hierdoor werd ILVO gevraagd het perceel te bestuderen. In kader van deze masterproef werd het perceel in beeld gebracht met een multispectrale camera gemonteerd op een drone. Aan de hand van deze beelden werden stalen genomen van de prei en via een droogstoof de opbrengst bepaald. Vervolgens werden de beelden en de stalen aan elkaar gekoppeld om te onderzoeken welke relatie opbrengst en plantparameters hebben.

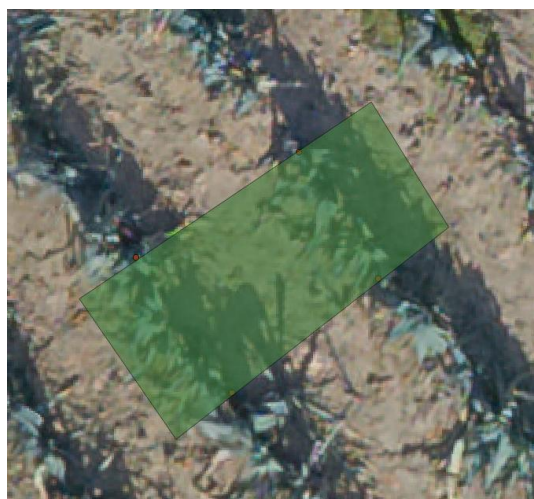


Figuur 106 Gestichte RGB foto van het preiveld met aangeduide proefveldjes

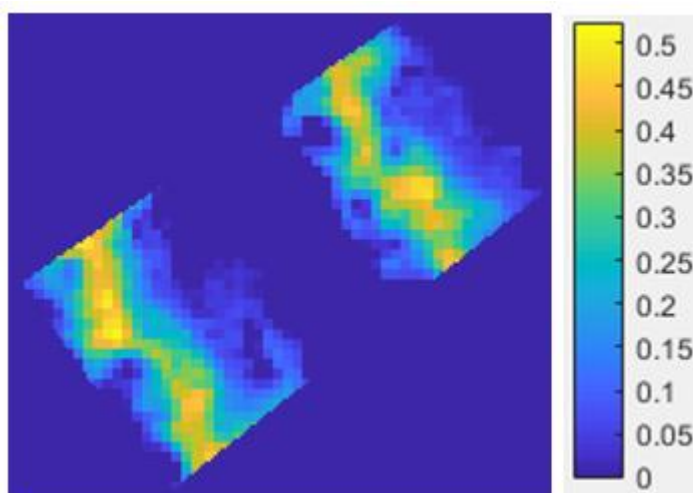
4.2 Werkwijze

Op 27 februari 2018 werd het volledige perceel in kaart gebracht met een Parrot Sequoia gemonteerd op een drone: Aligator hydra12. De beelden werden gestichted in Agisoft (Agisoft, 1.4.2) om vervolgens in geladen te worden in Qgis (Qgis Development team, 2.18.16). In Qgis werden de verschillende proefveldjes uitgeknipt en de verschillende parameters: NDVI, NDRE, GNDVI en GRVI per proefveldje berekend. Vervolgens werd het resultaat ingeladen in Matlab (Mathworks Inc, 2018a) om de verschillende waarden: gemiddelde, mediaan en standaardafwijking per proefveldje uit te rekenen.

Op 9 maart 2018 werd op het prei perceel acht stalen (proefveldjes) genomen van plaatsen waar een verminderde of een normale opbrengst verwacht werd. Deze stalen werden genummerd van A tot H. Bij elk staal werd telkens twee aanliggende rijen een halve meter prei geoogst. De afstand tussen twee rijen is 60 cm en de afstand tussen twee preistengels ligt tussen 10 à 15 cm wat ongeveer 6 tot 10 preistengels oplevert (Figuur 107).



Figuur 107 Gestichtete RGB foto van Proefveldje A aangeduidt als groen vak waarbij rode punten GPS-coördinaten zijn



Figuur 108 Proefveldje A uitgeknipt uit NDVI-map waarbij bodempixels verwijderd zijn

Bij het oogsten en opmeten van geo-referentiepunten werd telkens in de linker onderhoek van het proefveldje begonnen en verder gewerkt tegenwijzerzin. Van deze oppervlakte werden vervolgens de coördinaten van de hoekpunten vastgelegd om deze correct te geo-refereren. Ieder staal werd verwijderd van aarde zonder plantenmateriaal te verwijderen en een wortelstelsel van maximum 2 cm werd behouden. Het volledige staal werd vervolgens gewogen met een Sartorius weegschaal tot op 1 g nauwkeurig en versneden in kleinere stukken. Iedere preistengel werd in een aparte zak gestoken en op 9 maart 2018 om 13uur 30 in de droogstoof gelegd om gedroogd te worden. De droogstoof werd ingesteld op 72°C en het drogen op zich duurt normaal drie dagen, maar hier werd gewacht tot 14 maart 2018 om 13uur20 zodat alle stukken volledig gedroogd waren. Hierna werden alle stalen opnieuw gewogen (Figuur 109) en werd de opbrengst bepaald.



Figuur 109 Foto genomen van gedroogde preistengel tijdens het afwegen

De opbrengst per proefveldje werd uitgerekend en in Tabel 41 weergegeven. Hierbij wordt eerst het aantal preistengels weergegeven en vervolgens het totaal gewicht in gram per proefveldje voor vers en gedroogd materiaal. Nadien werd het droge stof gehalte bepaald van het volledige proefveldje. Aangezien er iedere keer tweemaal een halve meter geoogst werd en de rijbreedte 60 cm bedraagt heeft iedere proefveldje een grootte van $2 \times 0,60 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,6 \text{ m}^2$. Dit werd omgerekend naar ton per hectare om de opbrengst te bepalen. Met behulp van Matlab (Mathworks Inc, 2018a) werden per proefveldje het gemiddelde, mediaan en standaardafwijking per parameters bepaald. Omdat er in een preiveld nooit een volledige bedekking is van de bodem werden alleen beelden van planten gebruikt. Dit werd mogelijk gemaakt door alle waarden kleiner dan 0 uit het beeld te verwijderen. Hierdoor werd het gebruik van bodemcorrigerende parameters onnodig. Om dit enkel te doen op de geoogste proefveldjes werden enkel de parameters berekend binnen de GPS-coördinaten zodat geen overvloedige data berekend werd en de resultaten nauwkeurig zijn. De waarden bekomen uit Matlab (Mathworks Inc, 2018a) werden vervolgens per parameter uitgezet in een grafiek samen met de opbrengst verse stof. Daarna werd een lineaire regressie opgesteld om de correlatie na te gaan.

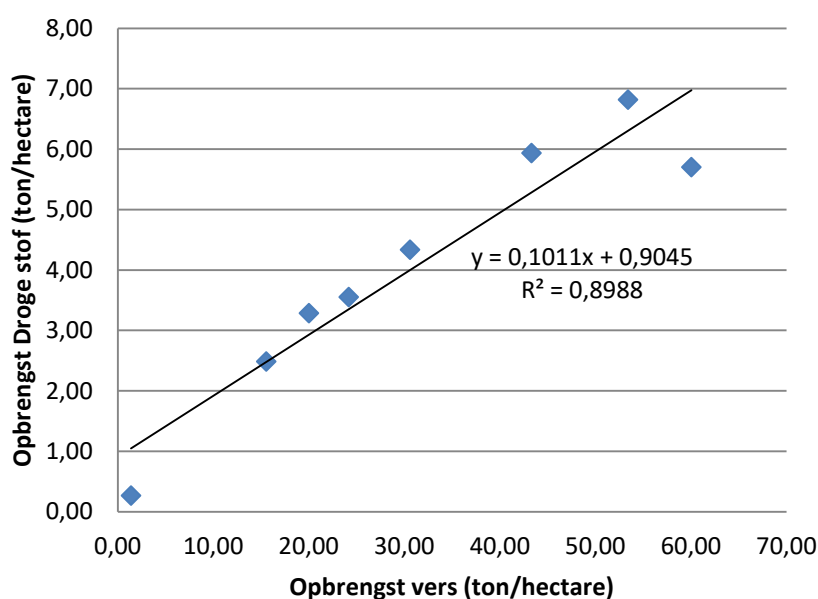
4.3 Resultaten en bespreking

Als we deze resultaten bestuderen merken we direct grote verschillen op tussen de proefveldjes. De verse opbrengst schommelt tussen 1,39 en 60,05 ton per hectare. Wat duidelijke verschillen zal opleveren qua parameters.

Tabel 41 Resultaten van het preiveld

	Totaalgewicht(g)		Gemiddelde (g)			Standaard afwijking op droog gemiddelde		Droge stof		Opbrengst (ton/hectare)	
	aantal	vers	droog	vers	droog	g	%	vers	droog		
A	8	1836	260	230	33	16	14,16	30,60	4,33		
B	6	933	149	156	25	13	15,97	15,55	2,48		
C	11	3205	409	91	409	20	12,76	53,42	6,82		
D	9	1451	213	153	23	22	14,91	24,18	3,55		
E	10	2599	356	263	37	20	14,18	43,32	5,93		
F	8	669	127	84	16	5	18,98	1,39	0,26		
G	9	3603	342	374	35	18	9,43	60,05	5,70		
H	8	1201	197	150	25	12	16,40	20,02	3,28		

Om de eerste conclusies te trekken over het preiveld werd de relatie van de verschillende proefveldjes tussen de opbrengst verse en droge stof opgesteld. Hierbij werd een lineaire regressie (Excel) opgesteld met een R^2 van 0,90 (Figuur 110).



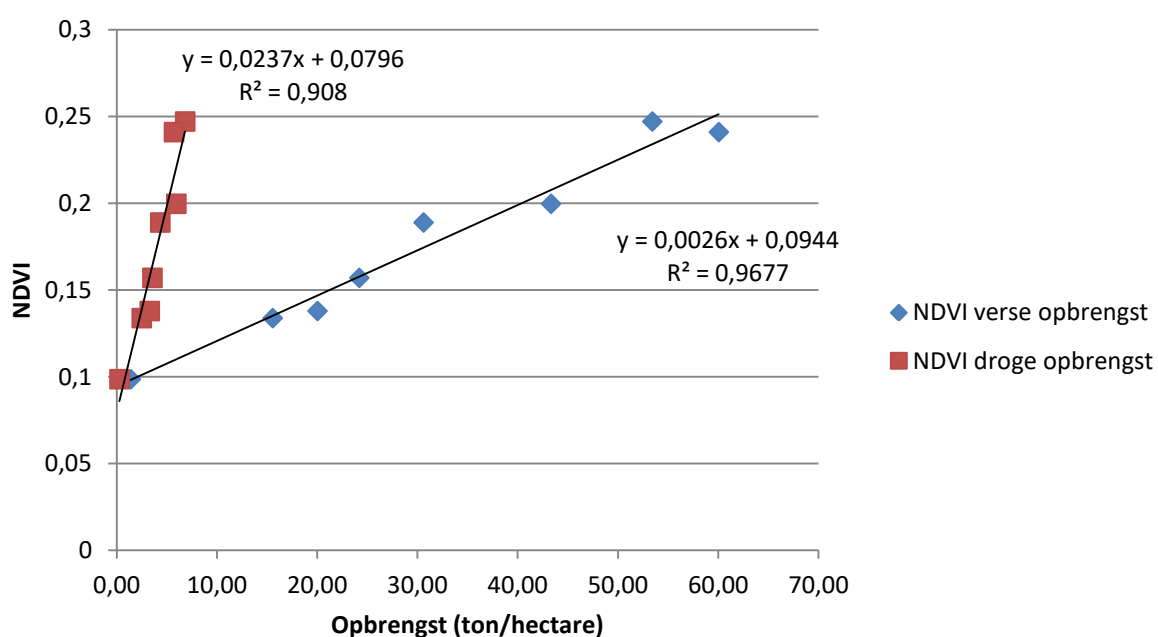
Figuur 110 Weergave van correlatie tussen opbrengst vers en droog plantenmateriaal

- **NDVI**

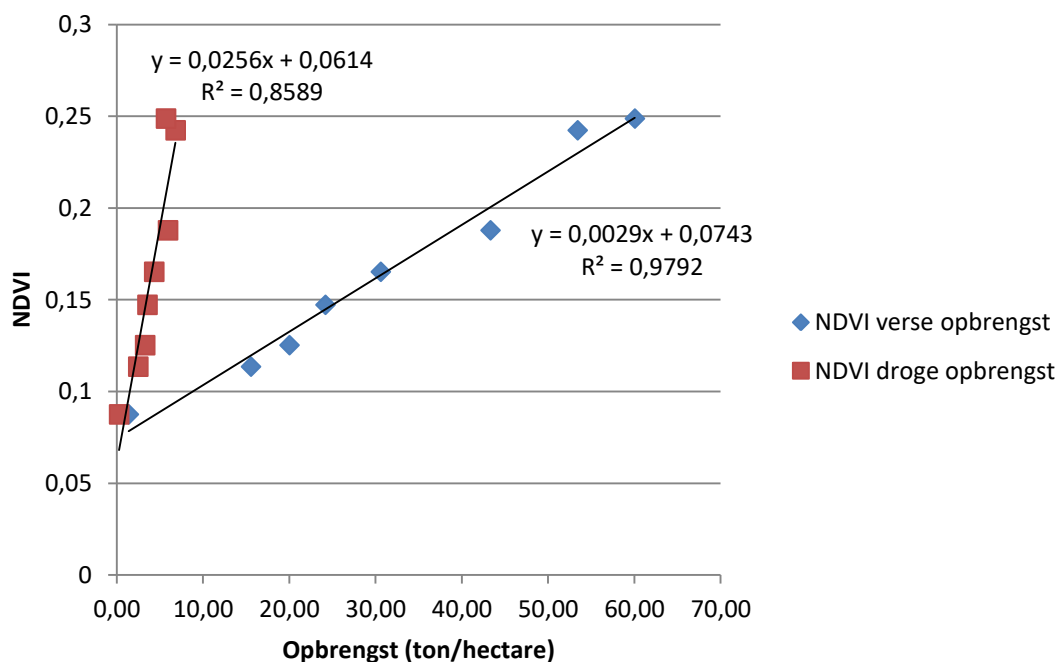
De parameter NDVI is een maatstaf voor de aanwezige groene biomassa en chlorofyl. In Tabel 42 worden de bekomen resultaten weergegeven. Vervolgens werd de opbrengst verse stof in relatie gebracht het gemiddelde (Figuur 111) en mediaan (Figuur 112) voor NDVI.

Tabel 42 Overzicht van de verschillende proefveldjes met overeenkomende opbrengst en NDVI

	Gemiddelde (g)		Opbrengst (ton/hectare)		NDVI		
	vers	droog	vers	droog	gemiddelde	standaardafwijking	mediaan
A	230	33	30,60	4,33	0,1889	0,1367	0,1653
B	156	25	15,55	2,48	0,1338	0,0979	0,1136
C	91	409	53,42	6,82	0,2471	0,1456	0,2424
D	153	23	24,18	3,55	0,157	0,1148	0,1473
E	263	37	43,32	5,93	0,1997	0,1273	0,1879
F	84	16	1,39	0,26	0,0986	0,0646	0,0876
G	374	35	60,05	5,70	0,241	0,1329	0,2488
H	150	25	20,02	3,28	0,1379	0,1006	0,1253



Figuur 111 Relatie tussen gemiddelde NDVI en opbrengst



Figuur 112 Relatie tussen NDVI mediaan en opbrengst

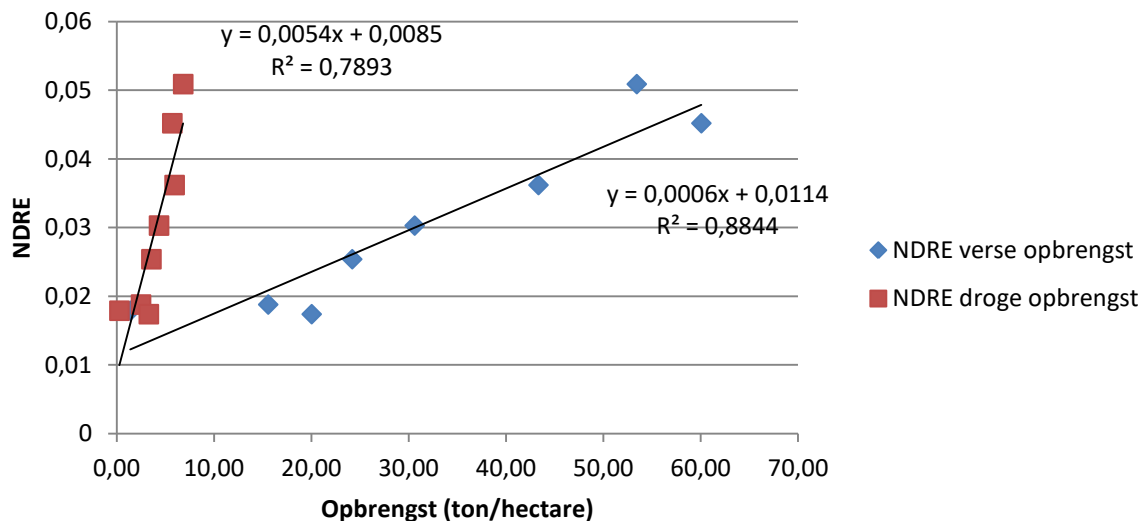
In beide gevallen werd een hoge correlatie bekomen wat wijst op een duidelijk verband tussen de opbrengst en NDVI. Dit is ook logisch te verklaren door de berekeningswijze van NDVI: er wordt berekend hoeveel biomassa er aanwezig is door specifieke reflectie door planten. Hierdoor wijst een grotere reflectie van NIR op meer aanwezigheid van groen plantenmateriaal en dus een hogere NDVI en opbrengst.

• NDRE

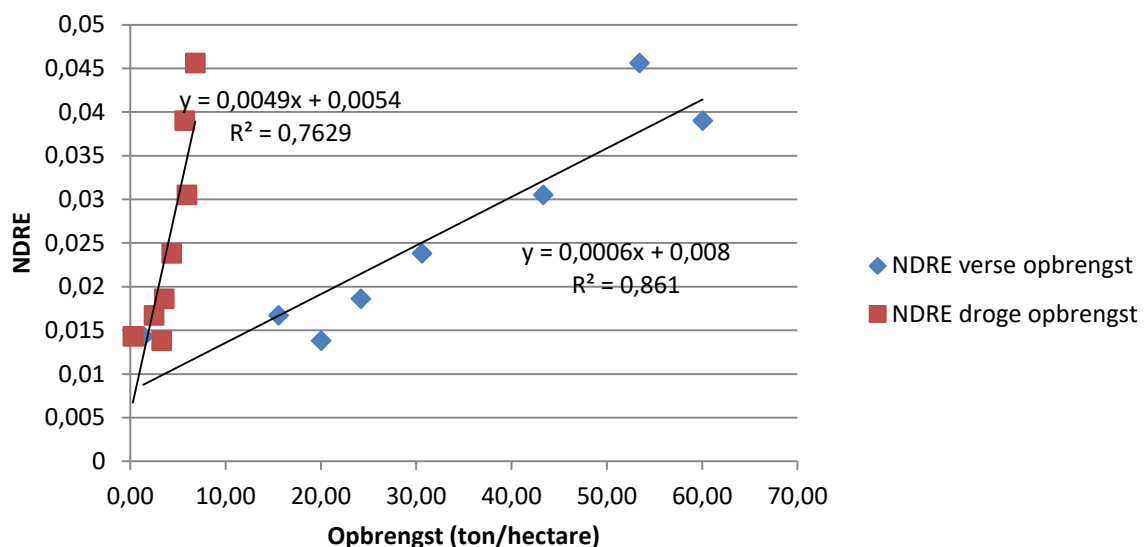
NDRE is een parameter voor het gehalte aan chlorofyl. In Tabel 43 wordt per proefveldje het gemiddelde, mediaan en standaardafwijking weergegeven. Vervolgens wordt het gemiddelde NDRE (Figuur 113) en de mediaan NDRE (Figuur 114) vergeleken met de opbrengst verse stof.

Tabel 43 Overzicht van de verschillende proefveldjes met overeenkomende opbrengst en NDRE

	Gemiddelde (g)		Opbrengst (ton/hectare)		NDRE		
	vers	droog	vers	droog	gemiddelde	standaardafwijking	mediaan
A	230	33	30,60	4,33	0,0303	0,0256	0,0238
B	156	25	15,55	2,48	0,0188	0,0137	0,0167
C	91	409	53,42	6,82	0,0509	0,0325	0,0456
D	153	23	24,18	3,55	0,0254	0,0236	0,0186
E	263	37	43,32	5,93	0,0362	0,0277	0,0305
F	84	16	1,39	0,26	0,0179	0,0151	0,0143
G	374	35	60,05	5,70	0,0452	0,0296	0,039
H	150	25	20,02	3,28	0,0174	0,0147	0,0138



Figuur 113 Relatie tussen NDRE gemiddelde en opbrengst



Figuur 114 Relatie tussen NDRE mediaan en opbrengst

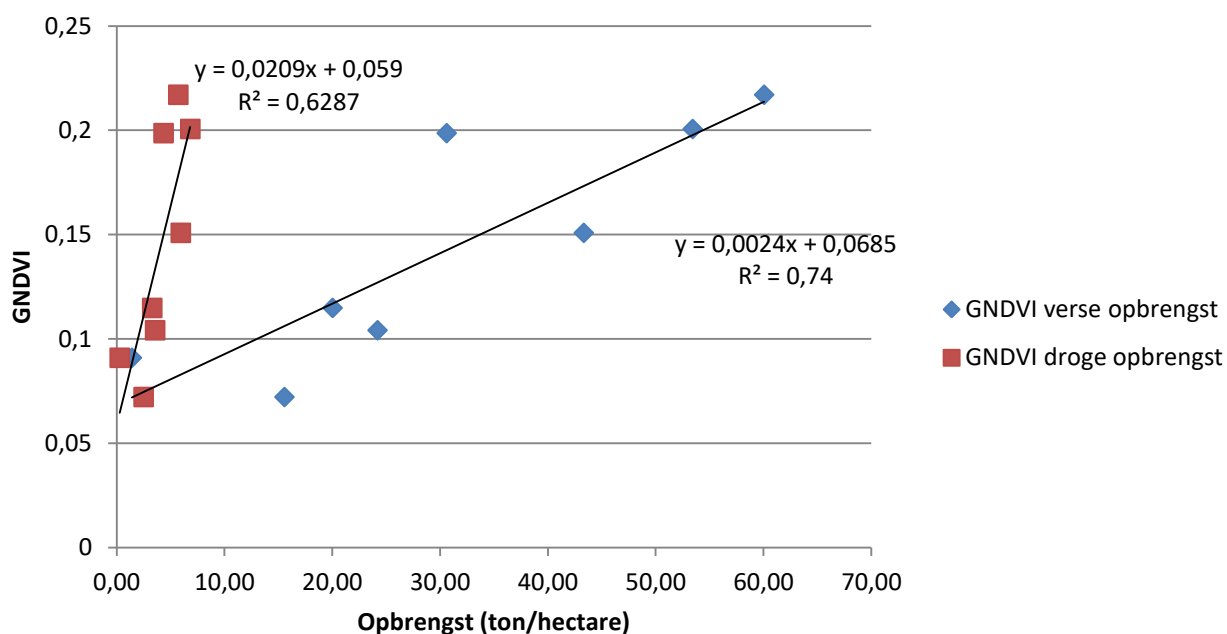
De bekomen correlatie tussen de opbrengst en de NDRE ligt hier lager dan bij NDVI. Dit is te wijten aan het feit dat NDVI vooral een indicator is voor biomassa en NDRE voor actief plantenweefsel namelijk chlorofyl. De beelden zijn genomen op 27 februari 2018 en dus tijdens de winter. Tijdens deze periode van het jaar is het meestal te koud om planten te doen groeien en is er te weinig zonlicht om energie op te slaan. Hierdoor investeert een plant enkel in haar onderhoud en niet meer in haar opslag of reproductie en dus is er ook niet veel actief chlorofyl terug te vinden. Zo krijgen de waarden voor NDRE een vertekend beeld en door de grotere spreiding tussen de proefveldjes wordt een kleine correlatie terug gevonden.

• GNDVI

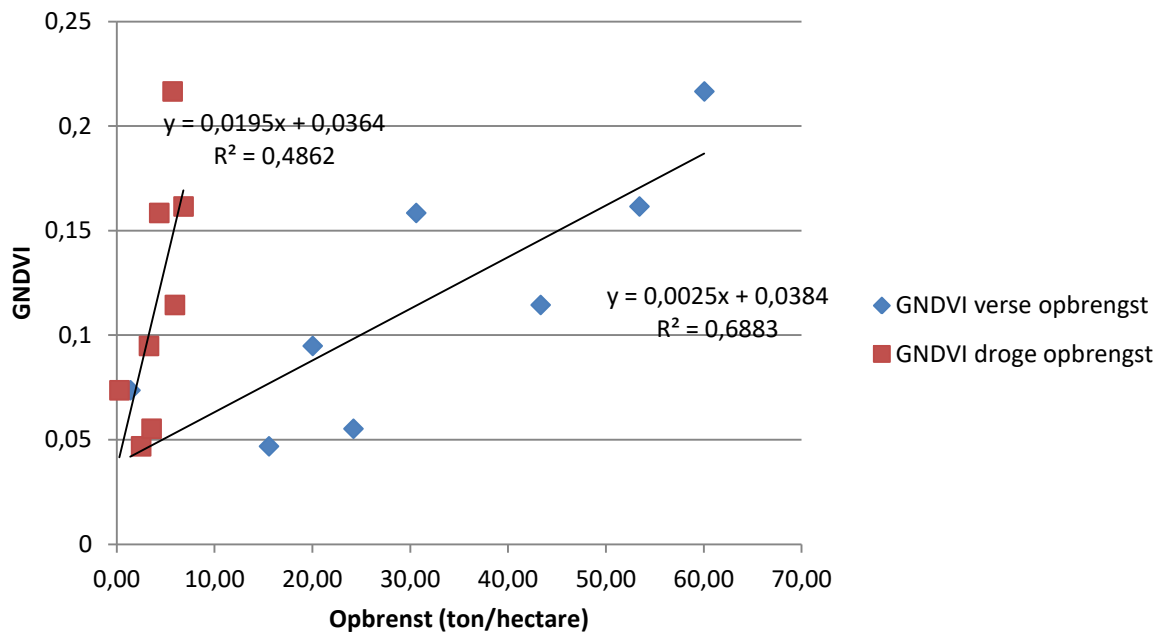
GNDVI is een parameter te vergelijken met NDVI maar door deze te berekenen met de groene band in plaats van met de rode band is ze gevoeliger voor chlorofyl-a. De resultaten voor deze parameter worden weergegeven in Tabel 44 waarna de opbrengst vergeleken wordt met het gemiddelde (Figuur 115) en mediaan (Figuur 116) van GNDVI.

Tabel 44 Overzicht van de verschillende proefveldjes met overeenkomende opbrengst en GNDVI

	Gemiddelde (g)		Opbrengst (ton/hectare)		GNDVI		
	vers	droog	vers	droog	gemiddelde	standaardafwijking	mediaan
A	230	33	30,60	4,33	0,1986	0,1249	0,1585
B	156	25	15,55	2,48	0,0721	0,072	0,0469
C	91	409	53,42	6,82	0,2006	0,1454	0,1616
D	153	23	24,18	3,55	0,1041	0,1104	0,0553
E	263	37	43,32	5,93	0,1508	0,1229	0,1145
F	84	16	1,39	0,26	0,0909	0,0691	0,0737
G	374	35	60,05	5,70	0,217	0,1189	0,2166
H	150	25	20,02	3,28	0,0174	0,0147	0,0138



Figuur 115 Relatie tussen GNDVI gemiddelde en opbrengst



Figuur 116 Relatie tussen GNDVI mediaan en opbrengst

Voor parameter GNDVI bekomen we een te lage correlatie om te kunnen stellen dat er een duidelijk verband is tussen GNDVI en de opbrengst. Wel kan opgemerkt worden dat GNDVI zeer gevoelig is voor chlorofyl-a en deze zoals bij NDRE al aangegeven in de winterperiode niet normaal actief is, daardoor dat bekomen resultaten een vertekend beeld krijgen.

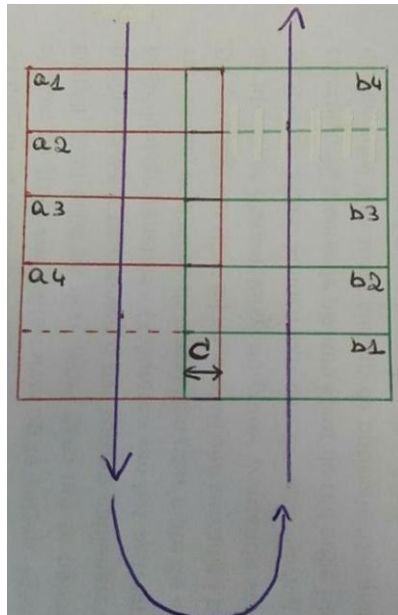
• GRVI

Als laatste parameter werd GRVI berekend. GRVI is een indicator voor fotosynthetisch actieve biomassa. Wanneer de waarden uitgerekend werden, werd vaak een waarde kleiner dan 0,0001 bekomen waardoor deze niet meer bruikbaar zijn voor een correct resultaat. De kleine waarden wijzen erop dat de prei niet meer fotosynthetisch actief was op moment dat de beelden genomen werden, dit door de overwintering van de prei maar ook door afrijpen.

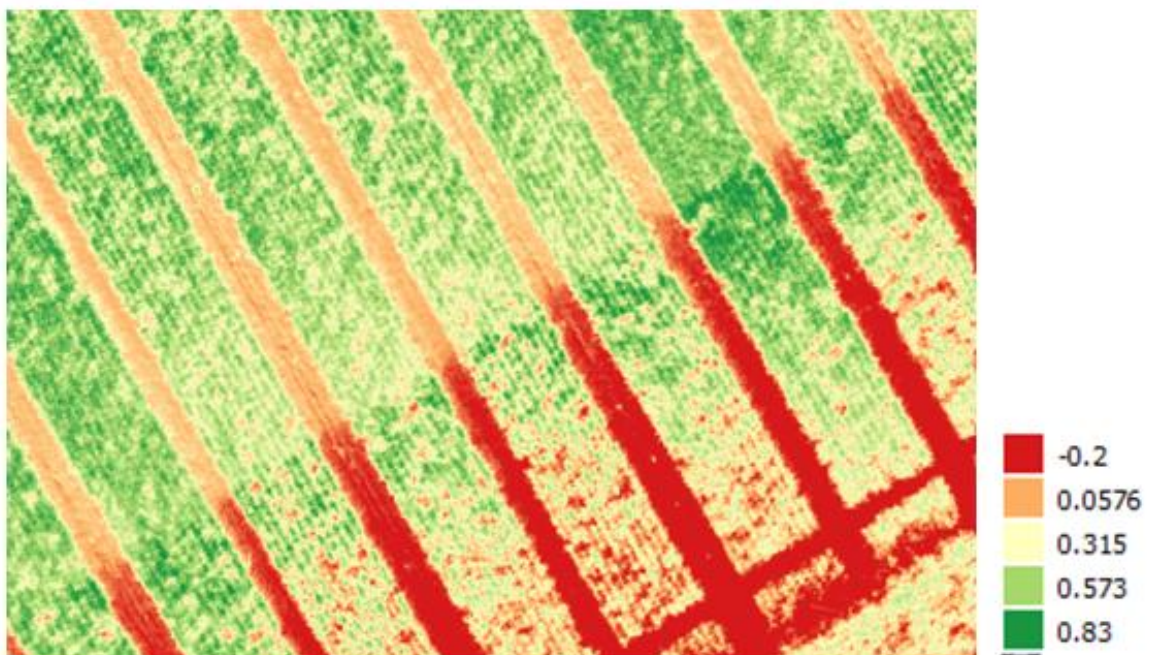
5 Discussie

Een eerste opmerking die gemaakt kan worden is in verband met de Parrot Sequoia. Deze sensor wordt vooral gebruikt in Amerika en scant gemakkelijk grote oppervlaktes. Daarnaast staat er niets vermeld over correcties die moeten gebeuren of afwijkingen die voor kunnen komen bij verschillende weertypes. Bij iedere opstart van een proef werden beelden genomen van reflectiepanelen voor kalibratie, bij de verwerking in Agisoft worden de reflecties hiermee gekalibreerd (Kalibreren van het systeem, pagina: 27). Maar over deze kalibratie wordt door de producent niet veel meegegeven. Daarom zou het interessant kunnen zijn om de Parrot Sequoia te vergelijken met andere sensoren door een proef door meerdere multispectrale camera's uit te voeren en de resultaten van beide sensoren te vergelijken. Uit de resultaten van deze thesis kon verder opgemerkt worden dat er significante verschillen zijn wanneer twee drone vluchten na elkaar uitgevoerd worden op een verschillend tijdstip. In experiment 2 van use case grasklaver blijkt dat slechts NDRE geen significante verschillen oplevert tussen twee vluchten uitgevoerd op 11u 37 min en 13u 42min. Hierbij veranderd de zon van hoogte en kunnen de verschillen hieraan te wijten zijn. NDVI wordt zelfs een gemiddeld verschil tussen de waarden waargenomen van 20%. Hieruit blijkt dat vluchten op een ander moment gevlogen verschillen kunnen opleveren in het eindresultaat. Wel moet opgemerkt worden dat de waarden voor de parameters heel klein zijn. Waarbij waarden onder de ondergrens in een equivalentiestudie duiden op geen relevante verschillen tussen de waarden.

Doordat drones meestal beperkt worden door hun batterij vermogen, is de vluchtduur beperkt. Hierdoor is het noodzakelijk om zo snel mogelijk de oppervlakte in kaart te brengen. Maar daarnaast heeft de Parrot Sequoia voldoende overlapping nodig tussen opeenvolgende beelden waardoor deze zoveel mogelijk beelden maakt per tijdseenheid. Hierdoor wordt voldoende overlapping behaald bij sequentieel genomen beelden (a1 tot a4 en b1 tot b4) in de vliegrichting en te weinig overlap aan de zijkanten van genomen bij twee parallelle vliegrichtingen (vluchtlijn a en b) (Figuur 117). Het effect die hierdoor te zien is, wordt BRDF genoemd (Kalibreren van het systeem, pagina: 27). Dit is terug te vinden in de verschillende stitches waar beelden elkaar overlappen (Figuur 118). Dit vooral bij use case wintertarwe doordat het vluchtpad uitgetekend werd met een andere sensor.

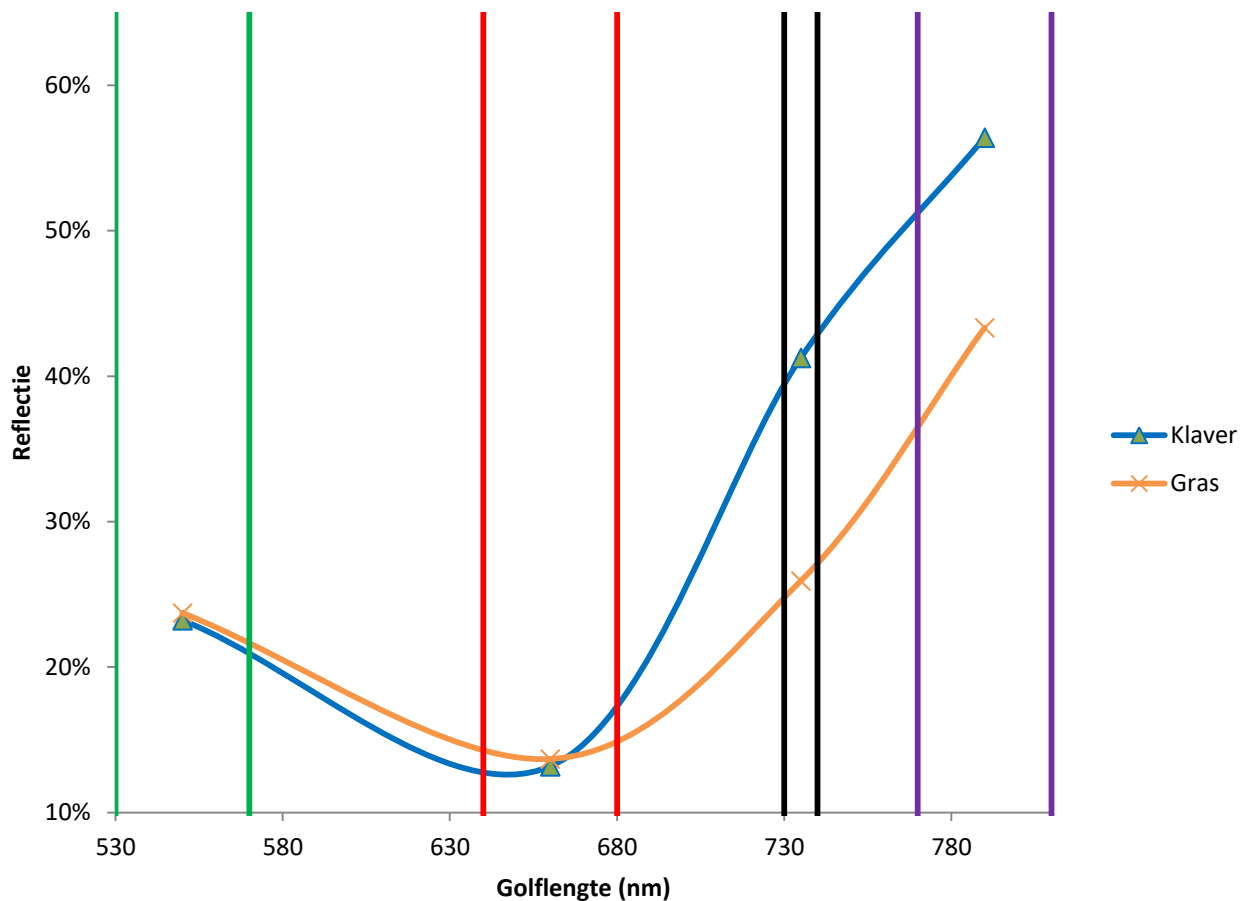


Figuur 117 Schematisch tekening van dronevlucht met a en b twee parallelle vliegrichtingen en c de overlapping tussen a en b



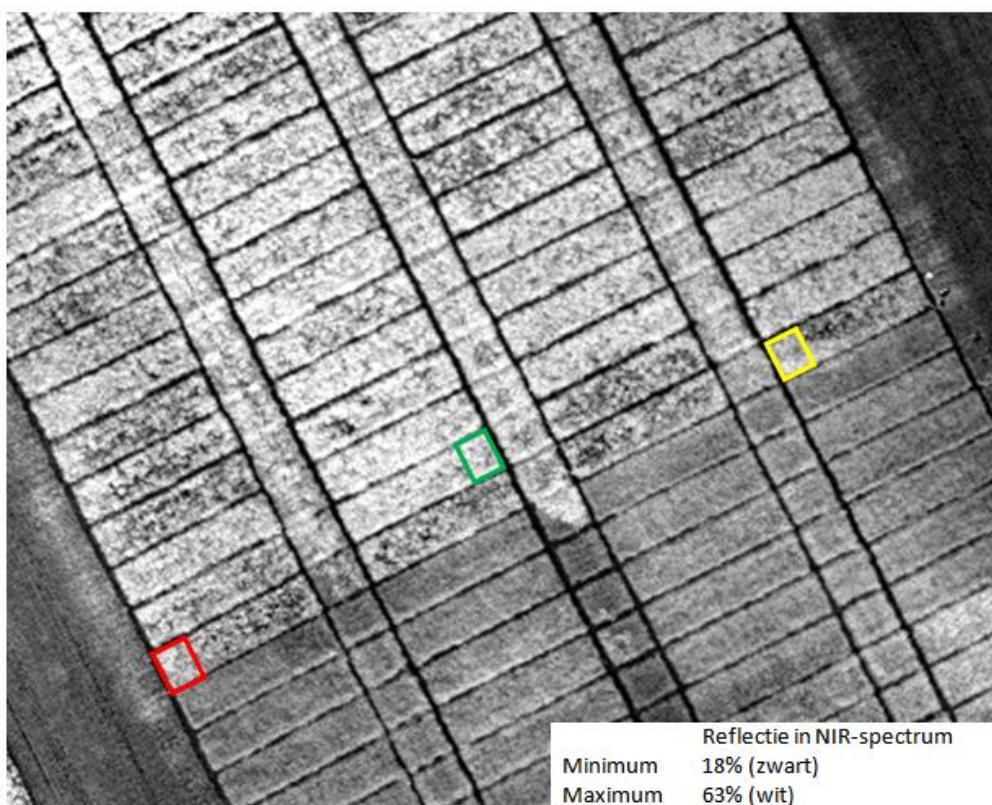
Figuur 118 Duidelijk verschil in waarden voor GRVI door BRDF en te weinig overlapping na stitchen in Agisoft (Agisoft, 1.4.2)

Wanneer de use case gras-klaver bestuderen kan besloten worden dat multispectrale camera's gebruikt kunnen worden om verschillende gewassen van elkaar te onderscheiden. Dit doordat beide gewassen een verschillend reflectiespectrum hebben (Figuur 119). Het reflectiepatroon is hier opgesteld uit waarden opgemeten door de Parrot Sequoia, daarnaast werden de opgemeten golflengtes op de figuur aangeduid.



Figuur 119 Reflectiespectrum voor proefveldjes met enkel gras en enkel klaver waar het gebied tussen de groene lijnen = groene band, tussen de rode lijnen = rode band, tussen de zwarte lijnen = red edge en tussen de paarse lijnen = NIR gebied

Een mogelijke verklaring voor deze resultaten kan te wijten zijn aan het chlorofyl gehalte van beide gewassen (Achtergrondinformatie en theoretische begrippen, pagina: 14). Chlorofyl zorgt voor de fotosynthese in een plant en bevat veel eiwit waardoor deze stikstofafhankelijk is. Verder zorgt chlorofyl ook voor een reflectiepiek in de red edge band. Waardoor red edge gekoppeld kan worden aan het stikstofgehalte van de plant. Zo wordt beschreven in de literatuur dat een exacte bepaling van de red edge piek ervoor zorgt dat het gehalte aan stikstof in de plant bepaald kan worden en dus ook het gehalte aan eiwit in de plant. Dit komt door het verschuiven van de red edge positie naar langere golflengtes in het reflectiespectrum. De Parrot Sequoia meet in het red edge gebied tussen 730 nm en 740 nm (Parrot sequoia, pagina: 39). Waardoor het mogelijk is dat de sensor niet het volledige gebied meet. Daarnaast wordt in sectie: Mechanische onkruidbestrijding beschreven dat monocotylen minder NIR reflecteren dan dicotylen. Dit wordt bevestigd op de NIR-reflectiemap (Figuur 120) waar de NIR reflectie wordt weergegeven voor het grasklaver perceel. Wanneer de minimum waarde voor de reflectie nu verhoogd wordt naar 50% reflectie kan kaart opgesteld worden waar de densiteit van de klaver zichtbaar wordt (Figuur 121). De minimumwaarde van 50% werd hier visueel gekozen.

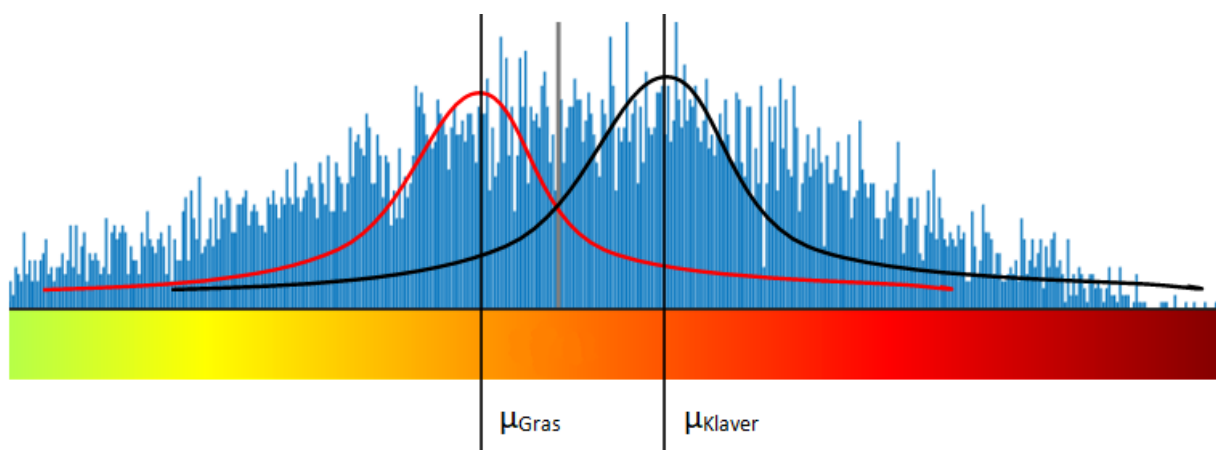


Figuur 120 Nir-reflectiemap van het grasklaver perceel met de verschillende proefveldjes omrandt: rood = proefveldje 1, geel = proefveldje 4 en groen = proefveldje 6



Figuur 121 Nir-reflectiemap met minimumwaarde 50% reflectie om klaverdensiteit weer te geven van het grasklaver perceel met de verschillende proefveldjes omrandt: rood = proefveldje 1 (42% klaver), geel = proefveldje 4 (36% klaver) en groen = proefveldje 6 (61% klaver)

Wanneer dan naar de intensiteitsverdeling van de NIR-reflectie gekeken wordt (Figuur 122), wordt vastgesteld dat het verschil tussen gras en klaver niet duidelijk is. Dit komt omdat de NIR reflectie (Figuur 119) van gras en klaver veel variatie bevat en elkaar overlappen. Door bijvoorbeeld de verdeling in NIR-reflectie voor gras en voor klaver uit te zoeken kan een grens tussen beiden getrokken worden. Met deze grenswaarde voor NIR-reflectie kan de verhouding tussen gras en klaver geschat worden. Ter verkenning werd de grens op een wiskunde manier benaderd. Een mogelijkheid hiervan is terug te vinden in Bijlage 6. In Bijlage 6 wordt een mogelijke verdeling van gras en van klaver bepaald. Waarna een grenswaarde opgesteld wordt die ongeveer 2% afwijkt van de werkelijke verhouding. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat een bijkomend onderzoek gunstige resultaten kan leveren. Waaruit mogelijks een algoritme opgesteld wordt die een correct geschatte verhouding van gras en klaver kan genereren.



Figuur 122 Intensiteitsverdeling van NIR-reflectie gras-klaver proefveldje 1 met een schets van de twee verdelingen waarbij de rode lijn de verdeling is voor gras en de zwarte lijn de verdeling voor klaver. (rood hoge reflectie, groen lage reflectie)

Na uitgebreid onderzoek in use case wintertarwe kan geconcludeerd worden dat NDVI en NDRE de beste plantparameters zijn om de groei van wintertarwe op te volgen. Maar daarnaast kan NDVI vervangen worden door GNDVI. GRVI blijkt uit deze proef geen nut te hebben. Dit wordt ook bevestigd in sectie: Parameters op pagina 29 waar beschreven is dat kortere golflengtes gevoeliger zijn voor diffusie en een vertekend beeld kunnen genereren (Kalibreren van het systeem, pagina: 27). Wanneer de NDVI bestudeerd wordt in loop van de tijd, verkleinen de verschillen naar mate de aanwezige biomassa stijgt, hierdoor stijgt de LAI. Dit bevestigt dat NDVI bij hogere LAI een verzadigd beeld creëert en minder bruikbaar wordt volgens de literatuur (Parameters, pagina: 29). De groter wordende verschillen tussen de bemestingstrappen in NDRE zouden te wijten kunnen zijn aan de verschuiving van de red edge en de hogere gehalten aan chlorofyl. Bij groeiende planten komt de red edge band op hogere golflengtes gelegen. Hierdoor kan de red edge piek soms niet op de optimale RE-band van de sensor liggen (Parameters, pagina: 29). Maar deze theorie kan niet bewezen worden doordat de exacte positie van de red edge piek niet bepaald werd. Door de combinatie tussen de twee beste parameters kan een CCCI waarde bekomen worden. Deze waarde zou volgens de literatuur de beste schatter zijn voor een goede stikstof bemesting in graangewassen (Fitzgerald, Rodriguez et al., 2010). Echter worden de verschillen tussen de bemestingstrappen in deze proef te laat opgemerkt om de parameter optimaal te gebruiken voor het maken van een bemestingskaart voor bijbemesting. Wel kan er verder onderzoek verricht worden met gebruik van een spectrometer.

Wel moet opgemerkt worden dat bij use case wintertarwe iedere dronevlucht apart werd uitgevoerd. Wanneer meer naar de invloed van tijd gekeken wordt en meerdere dronevluchten zijn uitgevoerd is het correcter om een repeated measurement ANOVA uit te voeren. Hierbij wordt de tijd ook in rekening gebracht en kan per parameter de verschillen in tijd onderzocht worden. Dit werd uitgevoerd voor gemiddelde NDVI met hetzelfde resultaat (Bijlage 7). Wel wordt de stelling dat de NDVI verschilt in tijd bekrachtigd.

Door de sterke correlatie tussen de CCCI en de bemesting zou aan de hand van de CCCI een bemestingskaart opgesteld kunnen worden. Maar om dit op een correcte wijze toe te passen is er nog nood aan verder onderzoek. De resultaten die in de proef bekomen zijn, zijn allemaal afkomstig uit één proef. Bij deze proef kon de aanwezige stikstof in de bodem verwaarloosd worden en werd de proef uitgevoerd met hetzelfde ras. Hierbij mag zeker niet vergeten worden dat gewassen onderling van elkaar kunnen verschillen. Dit geldt niet alleen op vlak van bodeminvloeden zoals het stikstofleverend vermogen maar ook verschillende rassen kunnen een verschil veroorzaken (Figuur 123). Het ene ras kan namelijk eenvoudiger dan het ander ras stikstof benutten, waardoor verschillen soms gemaskeerd worden. Dit kan ook het geval zijn bij opbrengstbepaling van verschillende gewassen.



Figuur 123 Foto van winter tarweveld op 5 mei 2018 in Hondshoote (FR) waar de zwarte lijn het veld visueel in twee splits door het gebruik van een ander wintertarwe ras. Hierbij is links van de lijn het gewas donkergroen en rechts van de lijn lichtergroen. Terwijl op het gehele perceel dezelfde bemesting uitgevoerd werd

Verder kunnen de gebruikte bemestingstrappen in vraag gesteld worden: in de proef wordt er vanuit gegaan dat rond de volgende bemesting de stikstof van de vorige fractie volledig is opgenomen door de plant. Doordat bij de volgende bemesting geen extreme tekenen van tekorten optraden kan er niet met zekerheid gezegd worden dat alle beschikbare stikstof opgenomen werd. De verschillen die gedetecteerd waren, kunnen in de praktijk lager zijn dan theoretisch voorspeld. Om de werkelijke hoeveelheid opgenomen stikstof te bepalen zouden stalen genomen moeten worden, wat hier niet gebeurd is. Opnamepatronen van stikstof en groeicurven verschillen tussen rassen wat zorgt voor verschillen in resultaten. Verder wordt er vanuit gegaan dat het veld uniform is. Bij het vergelijken van de verschillende trappen volgens de parameters worden bijna alle p-waarden $< 0,50$. Wat duidt dat er geen significante verschillen zijn, maar aangezien de p-waarden niet zo dicht bij 1 gelegen zijn,

kunnen er toch verschillen aanwezig zijn. Indien deze verschillen resulteren in verschillen qua vruchtbaarheid van de bodem of stikstofleverend vermogen kan dit zorgen voor een grote spreiding van de resultaten. Daarom is het interessant om bij herhaling van deze proef eerst een bodemscan op hoge resolutie uit te voeren zodat de geleidbaarheid over het gehele veld ongeveer hetzelfde is.

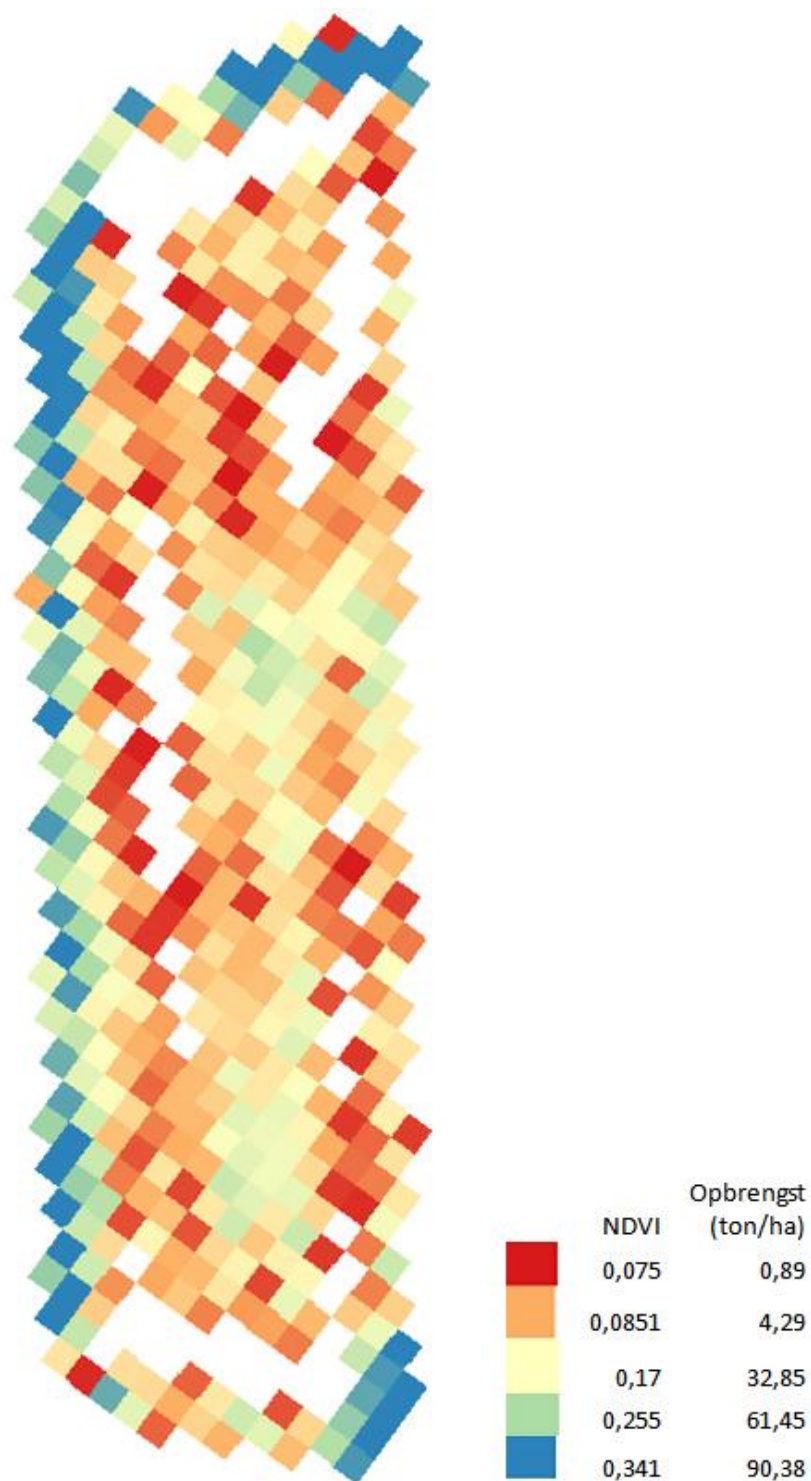
Uit deze proef blijkt dat het is mogelijk om op basis van plantparameters het stikstofgehalte in te schatten. Zo kan er in de praktijk gerichter bemest worden. Een mogelijke werkwijze in het geval van wintertarwe bij gebrek aan voorgeschiedenis van het perceel is het perceel in de eerste fractie gelijkmatig te bemesten op basis van bodemanalyses. Om daarna de vruchtbaarheid in te schatten van het betreffende perceel kan een kleine bemestingstrap aangelegd worden in hetzelfde perceel. Wanneer er nu voor een tweede keer bemest wordt, zou dit ervoor zorgen dat aan de hand van een multispectrale camera een inschatting gemaakt kan worden van de bodemactiviteit en het stikstofleverend vermogen. Hierdoor zal een verschil van bijvoorbeeld NDVI van 0,05 gekoppeld kunnen worden aan een lager stikstofniveau van 20kg N per hectare. Aan de hand van de bemestingstrap kan een schaal opgemaakt worden voor verschillen in parameters voor het ganse veld. Hierdoor kan over het gehele veld de vruchtbaarheid ingeschat worden en een variabele bemesting worden uitgevoerd.

Aansluitend op dit onderzoek zou een nieuwe onderzoeksvraag kunnen opgesteld : “Kan er aan de hand van de red edge positie het stikstofgehalte in wintertarwe bepaald worden, en op basis van de red edge positie een stikstofbemesting uitgevoerd worden?” Hierbij kunnen verschillende rassen wintertarwe met elkaar vergeleken worden. In de literatuur (Parameters, pagina: 29) worden parameters zoals CNI beschreven waarbij het stikstofgehalte kan worden voorspeld. Hierbij zou een betere inschatting kunnen gemaakt worden van het totaal opgenomen stikstof van de plant door staalname of aan de hand van een spectrometer met hogere spectrale resolutie om de correcte red edge positie te bepalen.

In de laatste use case werd de opbrengst van prei geschat aan de hand van de parameters. Aangezien de proef tijdens de winter werd uitgevoerd kan er besloten worden dat er niet veel actief plantenweefsel aanwezig was om correcte resultaten te bekomen voor GNDVI en GRVI, waardoor een opbrengstbepaling aan de hand van deze parameters niet voldoende exact is. Maar dit is wel mogelijk aan de hand van NDVI en NDRE aangezien deze parameters meer rekening houden met de aanwezige groene biomassa. Zo blijkt dat de opbrengst op een gegeven locatie bij benadering bepaald kan worden aan de hand van de NDVI of NDRE. Maar om een formule op te stellen die geldig is voor andere bodemsoorten, preivariëteiten,... is er meer onderzoek noodzakelijk om een correct resultaat te bekomen. Door het resultaat van deze proef is het nu ook mogelijk om een opbrengstvoorspellingsmap te maken. Het bleek dat mediaan van een proefveldje voor NDVI in verhouding met de verse stof opbrengst (ton/ha) de sterkste lineaire regressie opbracht met vergelijking $NDVI = 0,0029(\text{Opbrengst}) + 0,0743$ met $R^2 = 0,98$ (Figuur 112). Op basis hiervan kan op iedere plaats in dit perceel de opbrengst voorspeld worden. Dit werd weergegeven in Figuur 124 en Figuur 125. Hierbij valt op dat de lage opbrengst zich in verschillende zones bevinden. Deze zones hebben afgeronde vormen en zullen dus waarschijnlijk van natuurlijke oorsprong zijn. Indien de vormen in rechte zouden zijn, zijn deze eventueel te wijten aan machinale bewerkingen. Aangezien de landbouwer het volledige perceel op dezelfde wijze behandelde, kan besloten worden dat de verlaagde opbrengst waarschijnlijk te wijten is aan bodemfactoren.



Figuur 124 Opbrengstvoorspelling (ton/ha) per pixel voor het preiveld



Figuur 125 Opbrengstvoorspelling (ton/ha) per 3 meter op 3 meter voor het preiveld

Wel moet opgemerkt worden dat aan de randen van het veld vaak te hoge opbrengsten voorspeld worden. Dit is te wijten aan de volledige bedekking van de bodem door onkruid. In tegenstelling tot prei die een monocotyl is, is het onkruid dicotyl wat zorgt voor hogere reflectie en dus een hogere NDVI. Hoe groot het verschil in reflectie is zou kunnen nagegaan worden zoals bij gras-klover, maar werd hier niet uitgevoerd. Verder kan het ook voorkomen dat er op bepaalde plaatsen geen opbrengst voorspeld wordt. Dit is te wijten aan de zo dunne stand dat de opbrengst minimaal is.

Hoofdstuk 4 – Algemeen besluit

Zoals in de literatuur beschreven is, zijn er veel verschillende multispectrale camera's op markt. In deze masterthesis werd gekozen voor de Parrot Sequoia omdat de bekomen data bestaat uit verschillende beelden van de verschillende banden en dus een breedte verwerking toelaat. Maar om de sensor volledig te betrouwen zou de sensor gevalideerd moeten worden met andere sensoren.

Uit de proeven blijkt dat multispectrale camera's bruikbaar zijn om gewassen te monitoren. Zo is het mogelijk om monocotyle gewassen met dicotyle gewassen te scheiden. Daarnaast kan op basis van plantparameters een stikstofbemesting uitgevoerd worden en oogstmappen opgesteld worden voor bovengronds plantenmateriaal. Deze resultaten zijn uiterst handig voor variabele toepassingen. Wat mogelijk maakt om toepassingen van precisielandbouw 2.0 te gebruiken.

Daarnaast wordt in de literatuur beschreven dat aan de hand van verschillende parameters de biomassa en stikstofgehalte kan inschatten. Wanneer dit uitgetest wordt in de praktijk blijkt dit ook mogelijk. Maar er kan geconcludeerd worden dat de fysiologische toestand en samenstelling van veel meer factoren afhangt dan bemesting alleen. Wanneer planten bestudeerd worden kan er gesteld worden dat het gewas de beste bodemsensor is. Bij iedere verandering in bodem veranderen planten van groeiwijze en samenstelling. Hierdoor kan er dus geconcludeerd worden dat multispectrale camera's naast het meten van bodemreflectie ook via plantparameters een typisch bodemprofiel kan definiëren. Wat ervoor zorgt dat bij het interpreteren van plantparameters een voldoende kennis over het bodemprofiel nodig is. Dit is het best door het nemen van bodemscans om de vruchtbaarheid in te schatten, maar eventueel ook de gehalten aan nutriënten. Op basis van deze kennis kan aan de hand van plantparameters het gewas beter ingeschat worden en beter op haar behoeftes ingespeeld worden.

Hierdoor is er een toekomst voor multispectrale camera's in de landbouw, o.a. voor de bepaling van NDVI en NDRE om op deze wijze CCCI in te schatten. CCCI behaalde in de resultaten een sterke correlatie en dit bevestigt de literatuur. Hierdoor wordt CCCI één van de belangrijkste schatters voor stikstofbemesting. Maar om een correcte bemesting uit te voeren is er nood aan voldoende kennis over het bodemprofiel. Hierdoor kan beter ingeschat worden hoeveel stikstof er nodig is voor een optimale opbrengst. Maar om met behulp van multispectrale camera's een algoritme op te stellen om een exacte stikstofbemesting toe te passen, opbrengstvoorspellingen uit te voeren en om aan gewasdiversificatie te doen is verder onderzoek op verschillende rassen en bodemtypes noodzakelijk. Dit eventueel door datafusion van andere sensoren.

Samengevat:

- Mogelijks kunnen aan de hand het reflectiespectrum verschillende gewassen van elkaar onderscheiden worden, dit werd in deze masterproef uitgevoerd voor een gras-klaver mengsel.
- Voor een variabele stikstofbemesting in wintertarwe is het noodzakelijk bodeminvloeden in te kunnen schatten en blijkt CCCI de beste parameter.

- Een inschatting van de mogelijke opbrengst van prei is mogelijk aan de hand van de mediaan van plantparameter NDVI.
- Multispectrale camera's hebben veel toepassingen: stikstofbemesting, opbrengstbepaling, gewasdiversificatie, bodemonderzoek,... maar voor concrete toepassingen in de praktijk is nog meer onderzoek nodig door de verschillen tussen gewassen en zelfs rassen.

Referentielijst

Aerts W, Mentens N (2012) HET IMPLEMENTEREN VAN EEN MEERKANAALS GNSS-ONTVANGER MET FLEXIBELE HERCONFIGURATIE OP EEN FPGA.

Agrometius (2017) Partner in precisielandbouw.

Baert G (2016a) *Bodemkunde*. Aantal pagina's: 174

Baert G (2016b) *Plantenvoeding en bodembeheer*. Aantal pagina's: 150

Bayer Crop Science Belgium. (2017) Panelen praktijkdemo rond innovatie en duurzaamheid in de aardappelteelt.

Bernstein L (1975) Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual review of phytopathology* **13**: 295-312

Bodkin A, Sheinis A, Norton A, Daly J, Beaven S, Weinheimer J (2009) Snapshot hyperspectral imaging: the hyperpixel array camera. In *Proc. SPIE*, Vol. 7334, p 17.

Boshuizen C, Mason J, Klupar P, Spanhake S (2014) Results from the planet labs flock constellation. Fitzgerald G, Rodriguez D, O'Leary G (2010) Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index—The canopy chlorophyll content index (CCCI). *Field Crops Research* **116**: 318-324

Brevik EC, Fenton TE, Lazari A (2006) Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. *Precision Agriculture* **7**: 393-404

Bullock DG, Bullock DS, Nafziger ED, Doerge TA, Paszkiewicz SR, Carter PR, Peterson TA (1998) Does Variable Rate Seeding of Corn Pay? *Agronomy Journal* **90**: 830-836

Carlson TN, Ripley DA (1997) On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment* **62**: 241-252

Chao K, Yang CC, S. Kim M, E. Chan D (2008) High Throughput Spectral Imaging System for Wholesomeness Inspection of Chicken. *Applied Engineering in Agriculture* **24**: 475

Chen J, Jönsson P, Tamura M, Gu Z, Matsushita B, Eklundh L (2004) A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. *Remote Sensing of Environment* **91**: 332-344

Cheng T, Li D, Yao X, Tian Y, Zhu Y, Cao W (2015) A wavelet-based technique for extracting the red edge position from vegetation reflectance spectra. In *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp 2673-2676.

Clevers JGPW (1991) Application of the WDVl in estimating LAI at the generative stage of barley. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **46**: 37-47

Clevers JGPW (1999) The use of imaging spectrometry for agricultural applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **54**: 299-304

Corwin DL, Lesch SM (2003) Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture. *Agronomy Journal* **95**: 455-471

De Cauwer B (2015) Gewasbescherming Herbiologie. Aantal pagina's: 120

De Vidts B, Dierickx B, Jans R (2014) uitvoeren van GPS-metingen met behulp van Flemish Positioning Service (FLEPOS).

Diago M-P, Correa C, Millán B, Barreiro P, Valero C, Tardaguila J (2012) Grapevine Yield and Leaf Area Estimation Using Supervised Classification Methodology on RGB Images Taken under Field Conditions. *Sensors* **12**: 16988

Faries KM, Diers JR, Springer JW, Yang E, Ptaszek M, Lahaye D, Kraye M, Taniguchi M, Kirmaier C, Lindsey JS, Bocian DF, Holten D (2015) Photophysical Properties and Electronic Structure of Chlorin-Imides: Bridging the Gap between Chlorins and Bacteriochlorins. *The Journal of Physical Chemistry B* **119**: 7503-7515

Fitzgerald G, Rodriguez D, O'Leary G (2010) Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index—The canopy chlorophyll content index (CCCI). *Field Crops Research* **116**: 318-324

Filella I, Penuelas J (1994) The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing* **15**: 1459-1470

Gardner BR, Blad BL, Garrity DP, Watts DG (1981) Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. *Irrigation Science* **2**: 213-224

Govaerts B, Verhulst N (2010) The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management. Part A-Concepts and case studies.

Grisso RD, Alley MM, Thomason WE, Holshouser DL, Roberson GT (2011) Precision farming tools: variable-rate application.

Groves PD (2013) *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Second Edition*: Artech House.

Guyonneau R, BELIN E, MERCIER F, AHMAD A, MALAVAZI F (2017) Autonomous Robot for Weeding.

Haboudane D, Miller JR, Tremblay N, Zarco-Tejada PJ, Dextraze L (2002) Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote sensing of environment* **81**: 416-426

Haesaert G (2017) Plantenfysiologie. Aantal pagina's: 323

Hloben P (2007) Study on the response time of direct injection systems for variable rate application of herbicides. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn,

Holmqvist R (1993) A laser optic navigation system for driverless vehicle. *Arnex Navigation AB, ARNBL* **344**: p15

Humburg D (2001) Variable rate equipment—technology for weed control. *Site Specific Management Guidelines Web page: www.ppi-far.org/ssmg* Accessed: May

Keicher R, Seufert H (2000) Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. *Computers and Electronics in Agriculture* **25**: 169-194

Kempenaar (2018) Precisielandbouw. In

Kim Y, M. Glenn D, Park J, K. Ngugi H, L. Lehman B (2012) Characteristics of Active Spectral Sensor for Plant Sensing. *Transactions of the ASABE* **55**: 293

Kweon G, Lund E, Maxton C (2012) The ultimate soil survey in one pass: soil texture, organic matter, ph, elevation, slope, and curvature. In *11th International Conference on Precision Agriculture*.

Lagios E, Sakkas V, Papadimitriou P, Parcharidis I, Damiata BN, Chousianitis K, Vassilopoulou S (2007) Crustal deformation in the Central Ionian Islands (Greece): Results from DGPS and DInSAR analyses (1995–2006). *Tectonophysics* **444**: 119-145

Lawrence K, Park B, W. Heitschmidt W. R. Windham G, N. Thai C (2007) Evaluation of LED and Tungsten-Halogen Lighting for Fecal Contaminant Detection. *Applied Engineering in Agriculture* **23**: 811

Loghavi M, Behzadi Mackvandi B (2008) Development of a target oriented weed control system. *Computers and Electronics in Agriculture* **63**: 112-118

Lukas V, Neudert L, Kren J (2009) *Mapping of soil conditions in precision agriculture*, Vol. 13.

McLean E (1982) Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis Part 2 Chemical and microbiological properties*: 199-224

MicaSense. (2017a) Can RedEdge produce Digital Surface Models?

MicaSense. (2017b) Creating agricultural indices (NDVI, NDRE) from an Atlas GeoTIFF in QGIS

MicaSense. (2017c) An overview of the available layers and indices in Atlas. Vol. 2017.

Morris HR, Hoyt CC, Treado PJ (1994) Imaging Spectrometers for Fluorescence and Raman Microscopy: Acousto-Optic and Liquid Crystal Tunable Filters. *Appl Spectrosc* **48**: 857-866

Motohka T, Nasahara KN, Oguma H, Tsuchida S (2010) Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing* **2**: 2369

Mouazen AM, Alhwaimel SA, Kuang B, Waine T (2014) Multiple on-line soil sensors and data fusion approach for delineation of water holding capacity zones for site specific irrigation. *Soil and Tillage Research* **143**: 95-105

Mouazen Abdul (2018) Precision Agriculture.

Mutanga O, Skidmore AK (2007) Red edge shift and biochemical content in grass canopies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **62**: 34-42

NATURE (1994) The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* **371**: 783

Noh HK, Lu R (2007) Hyperspectral laser-induced fluorescence imaging for assessing apple fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* **43**: 193-201

Park B, C. Lawrence K, R. Windham W, Jeff Buhr R (2001). Hyperspectral Imaging for Detecting Fecal and Ingesta Contamination on Poultry Carcasses. *2001 ASAE Annual Meeting*; St. Joseph, MI. ASAE.

Parrot. (2017a) Parrot Sequoia.

Parrot (2017b) userguide.

Peng Y, Lu R (2006) AN LCTF-BASED MULTISPECTRAL IMAGING SYSTEM FOR ESTIMATION OF APPLE FRUIT FIRMNESS: PART I. ACQUISITION AND CHARACTERIZATION OF SCATTERING IMAGES. *Transactions of the ASABE* **49**: 259

Penna N, Dodson A, Chen W (2001) Assessment of EGNOS tropospheric correction model. *The Journal of Navigation* **54**: 37-55

Peñuelas J, Filella I (1998) Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science* **3**: 151-156

Qin J, Burks TF, Zhao X, Niphadkar N, Ritenour MA (2012) Development of a two-band spectral imaging system for real-time citrus canker detection. *Journal of Food Engineering* **108**: 87-93

Qin J, Chao K, Kim MS, Lu R, Burks TF (2013) Hyperspectral and multispectral imaging for evaluating food safety and quality. *Journal of Food Engineering* **118**: 157-171

Qin J, Chao K, S. Kim M (2010) Raman Chemical Imaging System for Food Safety and Quality Inspection. *Transactions of the ASABE* **53**: 1873

Reder a. (2016) reflectie, absorptie en transmissie en meetwaarde. Vol. 2017.

Ros G, Bussink D (2012) Ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijmesten van gewassen. *Toepassingsmogelijkheden van gewassensoren in de Nederlandse precisielandbouw: een literatuurstudie NMI rapport* **1454**

Kim M, R. Chen Y, M. Mehl P (2001) HYPERSPECTRAL REFLECTANCE AND FLUORESCENCE IMAGING SYSTEM FOR FOOD QUALITY AND SAFETY. *Transactions of the ASAE* **44**: 721

Schans DAvd, Berg Wvd. (2013) Testen, Validatie en Toepassing van het Veris-sensorplatform Veldanalyse van twee percelen op veenkoloniale grond. PPO AGV, Lelystad.

Schans DAvd, Blok PM, Blok D, Os GJv. (2011) WURKS lesmodules precisielandbouw voor MBO & HBO. PPO AGV, Lelystad.

Sellers PJ (1985) Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing* **6**: 1335-1372

Silleos NG, Alexandridis TK, Gitas IZ, Perakis K (2006) Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years. *Geocarto International* **21**: 21-28

Steketee IC cultivator. In

Sudduth KA, Drummond ST, Kitchen NR (2001) Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* **31**: 239-264

TOPCON (2016) CROPSEC, crop monitoring technology.

Tremblay N, Wang Z, Cerovic ZG (2012) Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **32**: 451-464

Trimble. (2017) WeedSeeker Spot Spray System.

Vicon. (2017) vicon ratoflow RO-M geospread: de GPS gestuurde weegstrooier voor het middensegment van de markt.

Wang WJ, Dalal RC, Moody PW, Smith CJ (2003) Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology and Biochemistry* **35**: 273-284

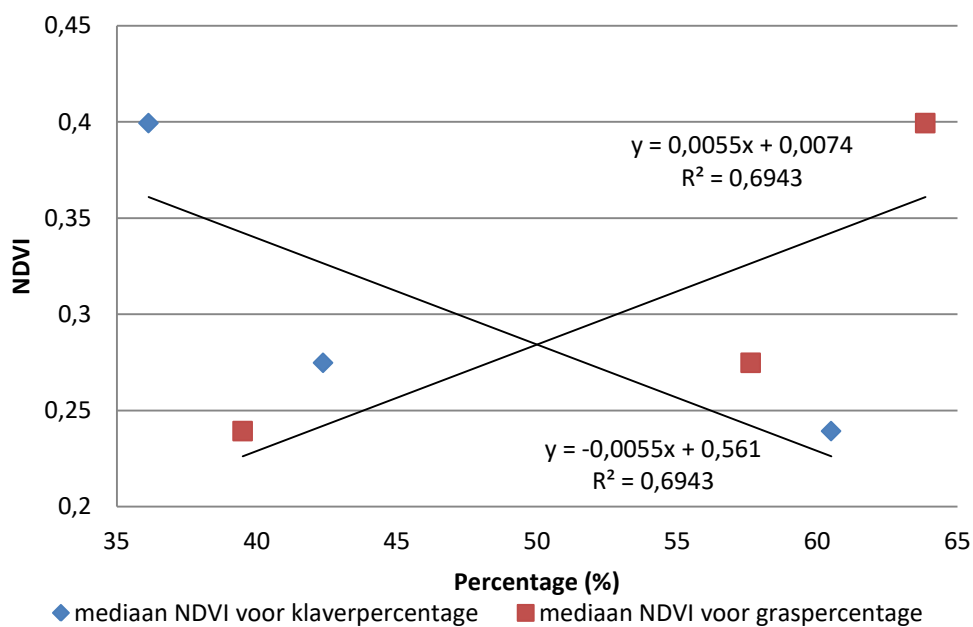
WorksWell. (2016) Ecology and agriculture. Vol. 2017.

Zhang Q, Pierce FJ (2013) *Agricultural automation: fundamentals and practices*: CRC Press.

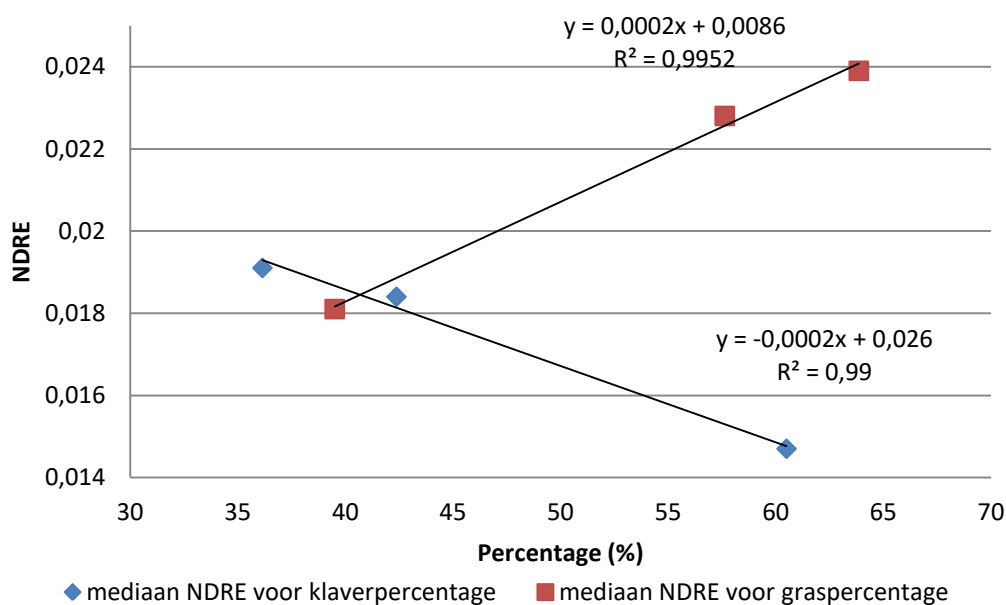
Zillmann E, Graeff S, Link J, Batchelor WD, Claupein W (2006) Assessment of Cereal Nitrogen Requirements Derived by Optical On-the-Go Sensors on Heterogeneous Soils. *Agronomy Journal* **98**: 682-690

Bijlagen

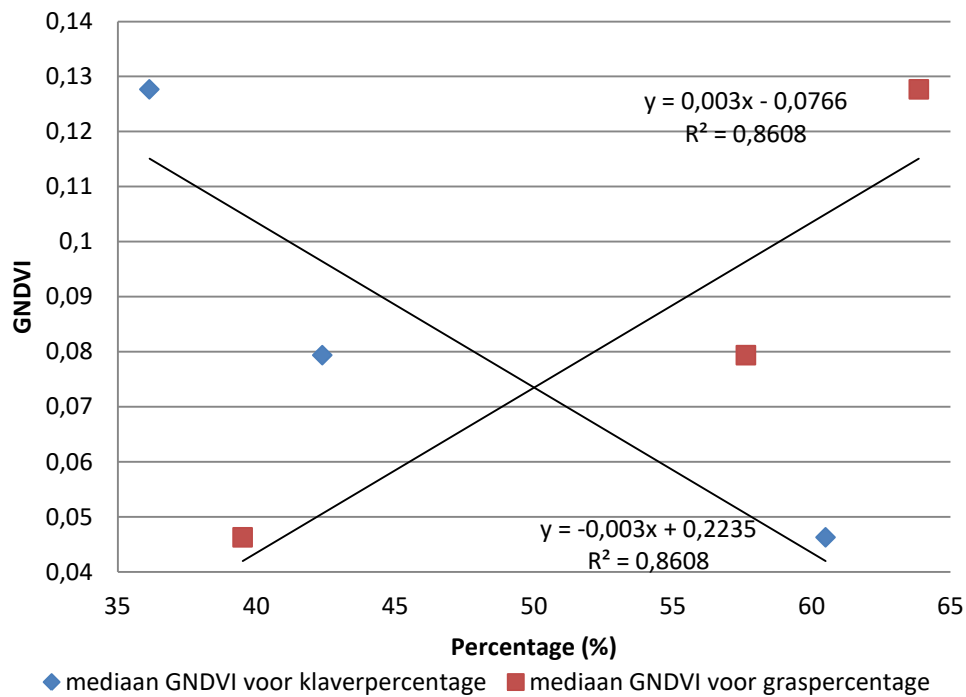
1 Bijlage 1



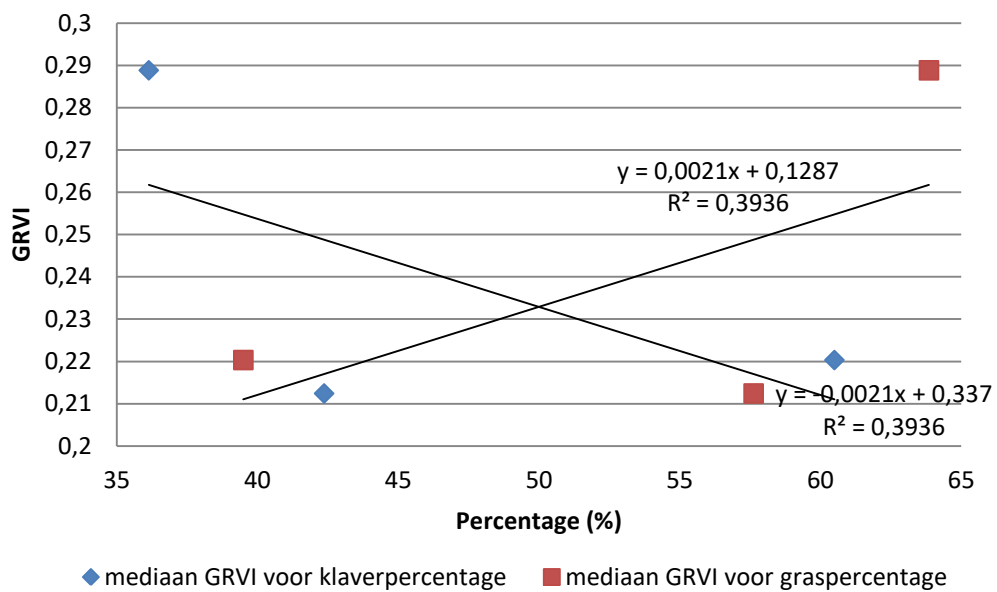
Figuur 126 Verandering in mediaan NDVI vergeleken met verhouding gras klaver



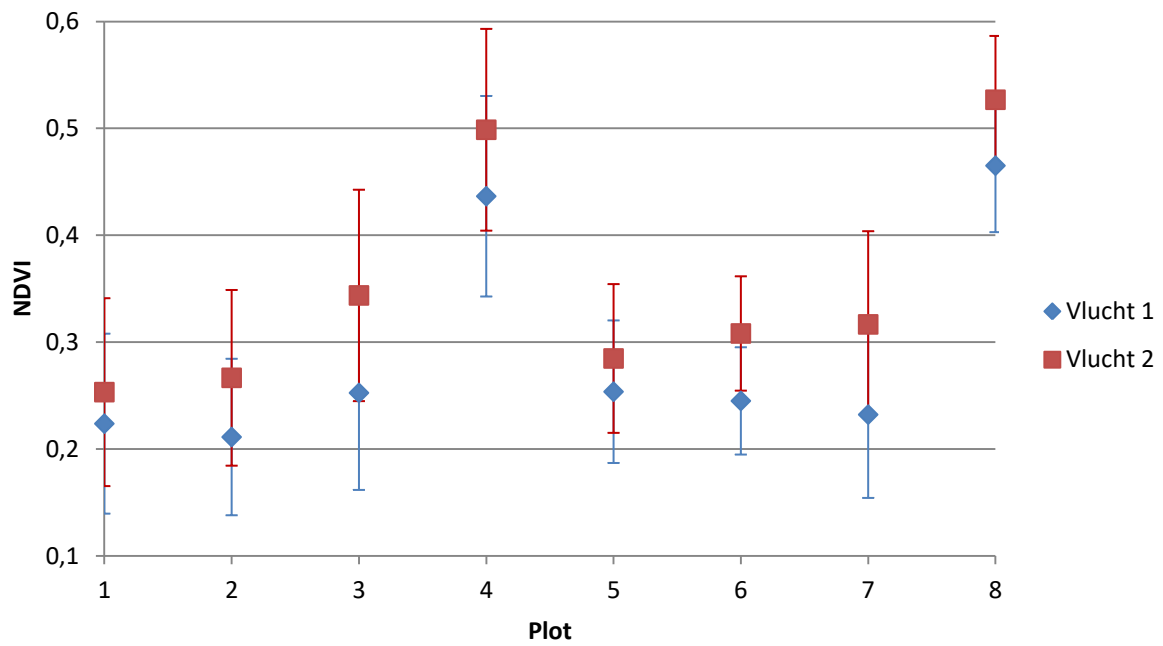
Figuur 127 Verandering in mediaan NDRE vergeleken met verhouding gras klaver



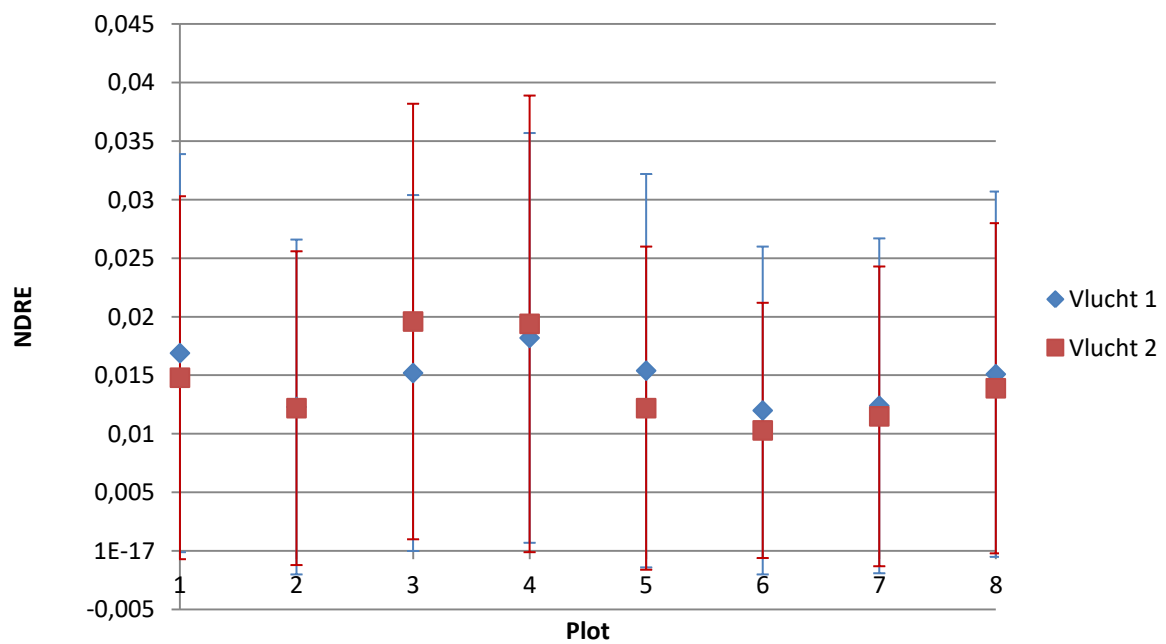
Figuur 128 Verandering in mediaan GNDVI vergeleken met verhouding gras klaver



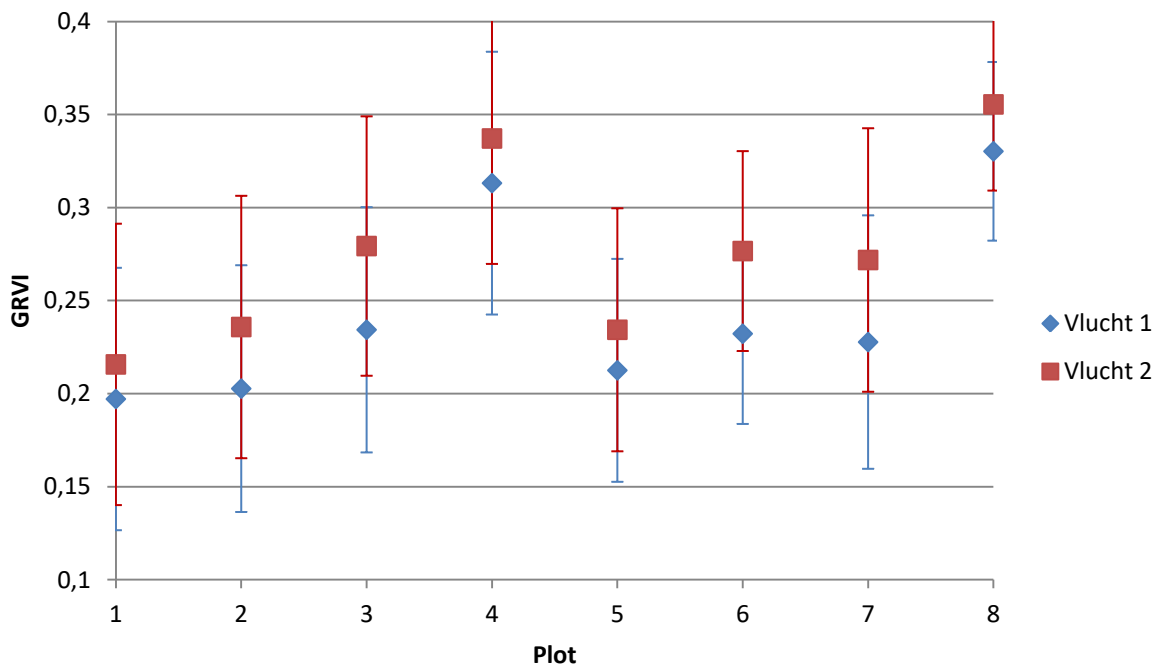
Figuur 129 Verandering in mediaan GRVI vergeleken met verhouding gras klaver



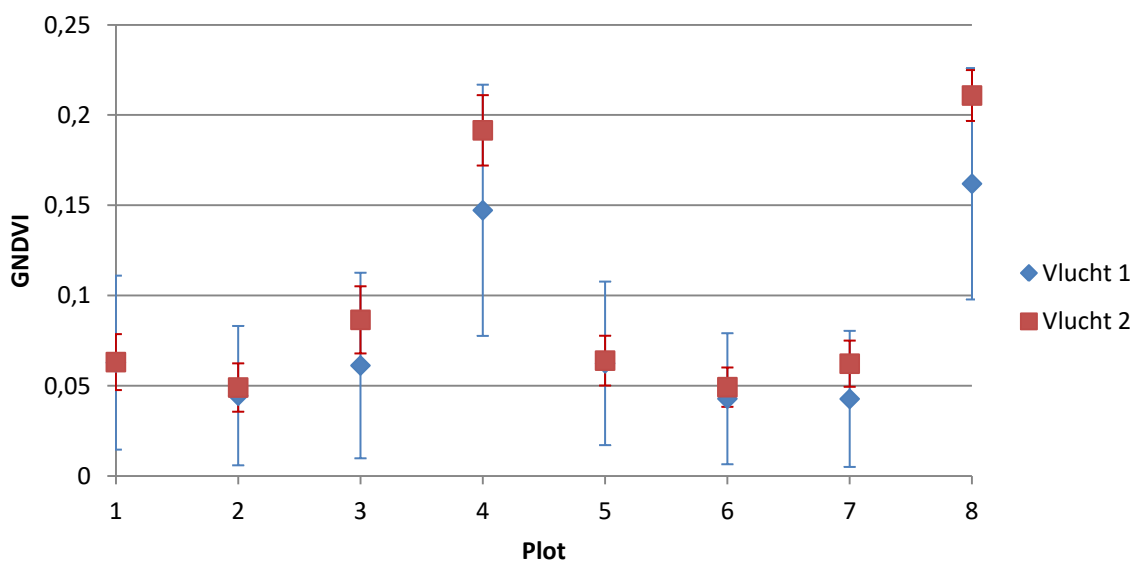
Figuur 130 Mediaan NDVI per proefveldje per vlucht



Figuur 131 Mediaan NDRE per proefveldje per vlucht



Figuur 132 Mediaan GRVI per proefveldje per vlucht



Figuur 133 Mediaan GNDVI per proefveldje per vlucht

Tabel 45 Overzicht van verschillende p-waardes voor de verschillende parameters met nulhypothese = geen verschil tussen de parameters voor verschillende vluchten

	P-waarde	Besluit
NDVI	<0,005	We verwerpen de nulhypothese
NDRE	0,7670	We aanvaarden de nulhypothese
GNDVI	0,0279	We verwerpen de nulhypothese
GRVI	<0,005	We verwerpen de nulhypothese

2 Bijlage 2



BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIE v.z.w.

W. de Croylaan 48
B-3001 Heverlee
Tel.: 016-31 09 22 - Fax: 016-22 42 06
E-mail info@bdb.be

Leliestraat 63
B-8800 Roeselare
Tel.: 051-20 54 00 - Fax: 051 20 54 20
E-mail info@bdb.be

BNP: BE22 0015 8344 2447
KBC: BE94 7364 0303 0014
PRC: BE95 0000 4991 2358
B.T.W.: BE 420.415.024

ERKEND LABORATORIUM

BELAC-geaccrediteerde staalname

ILVO - PLANT-EIGEN VERMOGEN

Staaln. : CARION IVE
1623 GAVERLAND 62
9620 ZOTTEGEM
0474 / 32 43 07

CARITASSTRAAT 39
B 9090 MELLE

STIKSTOFBEMESTINGSADVIES OP BASIS VAN DE N-INDEXMETHODE

TEELT : wintertarwe

E-mail : Filip.Debrouwer@ilvo.vlaanderen.be

KLANTNUMMER : 315845

Heverlee, 28 februari 2018

Volgnummer B.D. : N2325001 (1/4)

Nr. staalneming : 16019123 (4)

Datum staalname : 15/ 2/2018

Benaming perceel : S 2

ONTLEDINGSUITSLAGEN EN BEOORDELING :

Methode	458 Grondsoort	462 B Nitrische stikstof in kg N/ha 16/02/2018	462 B Ammoniakale stikstof in kg N/ha 16/02/2018	089 B pH-KCl 16/02/2018	473 B Koolstof in % 16/02/2018
Datum	16/02/2018				
0 - 30 cm	35 Lichte leem	6	< 4	6.3 Tamelijk laag.	1.0
30 - 60 cm		4	< 4		
60 - 90 cm		6	< 4		

N-index* (L)

103

zeer laag

Technisch verantwoordelijke laboratorium
Dr. ir. Hilde Vandendriessche

* De N-index is een maat voor de hoeveelheid beschikbare stikstof voor de teelt op dit perceel en houdt rekening met de actuele stikstofreserve, de stikstof die gedurende het groeiseizoen zal vrijkomen en verliezen die kunnen optreden.



BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIE v.z.w.

W. de Croylaan 48
B-3001 Heverlee
Tel.: 016-31 09 22 - Fax: 016-22 42 06
E-mail: info@bdb.be

Leliestraat 63
B-8800 Roeselare
Tel.: 051-20 54 00 - Fax: 051 20 54 20
E-mail: info@bdb.be

BNP: BE22 0015 8344 2447
KBC: BE94 7384 0303 0014
PRC: BE95 0000 4991 2358
B.T.W.: BE 420.415.024

Staaln. : CARION IVE
1623 GAVERLAND 62
9620 ZOTTEGEM
0474 / 32 43 07

ILVO - PLANT-EIGEN VERMOGEN

CARITASSTRAAT 39
B 9090 MELLE
Tel.: 09 / 272 29 00

STIKSTOFBEMESTINGSADVIES OP BASIS VAN DE N-INDEXMETHODE

KLANTNUMMER : 315845
Volgnummer B.D. : N2325001
Benaming perceel : S 2

Heverlee, 28 februari 2018

(2/4)

STIKSTOFBEMESTINGSADVIES :

Variëteit (zaaidatum)	Groeiregulator	Bemestingsadvies in kg N/ha	N-fractionering in kg N/ha
--- (20/10)	0 x	216	eerste fractie : 85 tweede fractie : 65 derde fractie : 66
--- (20/10)	1 x	226	eerste fractie : 90 tweede fractie : 60 derde fractie : 76

OPMERKINGEN :

De stikstofbemesting bij voorkeur gefractioneerd toedienen bij de volgende ontwikkelingsstadia van de tarwe :

- eerste fractie : uitstoeling
- tweede fractie : stengelstrekking
- derde fractie : laatste blad

De pH is tamelijk laag. Om de bekalkingsdosis juist te berekenen is het noodzakelijk een standaardgrondontleding uit te voeren.

Dit advies is gericht op een landbouwkundig optimaal rendement en KAN in tegenspraak zijn met de wettelijk toegelaten dosis op dit perceel.

MINIMAAL ADVIES RANDVOORWAARDEN GLB

De Bodemkundige Dienst van België is als laboratorium erkend in de discipline bodem, deeldomein bodembescherming.

OC-gehalte: 1.04 % OC (volgens ISO 14235 / METH 473)

Textuur: Leem



BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIE v.z.w.

W. de Croylaan 48
B-3001 Heverlee
Tel.: 016-31 09 22 - Fax: 016-22 42 08
E-mail: info@bdb.be

Leliestraat 63
B-8800 Roeselare
Tel.: 051-20 54 00 - Fax: 051 20 54 20
E-mail: info@bdb.be

BNP: BE22 0015 8344 2447
KBC: BE94 7384 0303 0014
PRC: BE95 0000 4991 2358
B.T.W.: BE 420.415.024

Staaln. : CARION IVE
1623 GAVERLAND 62
9620 ZOTTEGEM
0474 / 32 43 07

ILVO - PLANT-EIGEN VERMOGEN

CARITASSTRAAT 39
B 9090 MELLE
Tel.: 09 / 272 29 00

STIKSTOFBEMESTINGSADVIES OP BASIS VAN DE N-INDEXMETHODE

KLANTNUMMER : 315845
Volgnummer B.D. : N2325001
Benaming perceel : 8 2

Heverlee, 28 februari 2018

(3/4)

pH-KCl: 6.2 (volgens ISO 10390 / METH 053 B)

De GLB-limietwaarden voor het C-gehalte, voor de pH-KCl en voor de verlagings van de erosiegevoeligheidsklasse zijn raadpleegbaar op <http://www.bdb.be/begeleidendenota/GLB.pdf>

Onderzoek wordt verricht en adviezen worden verstrekt op voorwaarde dat de aanvrager afstand doet van ieder recht op aansprakelijkstelling.

INFORMATIE UITGEVOERDE ANALYSE- EN ADVIESMETHODEN

Parameter	Meth.nr.	Eenheid	Accreditatie/ Erkenningen	Beproevingsmethode
Grondsoort	458		7	BDB-methode: palpatie
Nitraat-N	462	kg N/ha	B; 8;16	Continuous flow: ISO 14256-2; BAM deel 1/04; Meting extract; ISO 13395; ISO 11732
Ammonium-N	462	kg N/ha	B; 8;16	Continuous flow: ISO 14256-2; BAM deel 1/07; Meting extract ISO 13395; ISO 11732
pH-KCl	089		B; 16	BDB-methode afgeleid van ISO 10390;
pH-KCl (ISO)	053		B; 7; 9;16	ISO 10390; CMA/2/II/A.20; BOC
Organische koolstof	473	%	B; 7;8;9;16	BOC; BAM deel 1/10; CMA/2/II/A.10; ISO 14235
Staalname	STGROND	-	B; 7; 8;16	Staalname bodem in het kader van landbouw- doeleinden (N-INDEX) conform ISO 10381/2; ISO 10381/4; BAM deel 1/01; BOC

Legende Accreditatie/ Erkenning

- B BELAC-accreditatie 127-TEST (ISO 17025)
- 7 Vlaanderen ALBON discipline bodem, deeldomein bodembescherming (VLAREL)
- 8 Vlaanderen VLM Erkenning in het kader van het Mestdecreet (VLAREL)
- 9 Vlaanderen OVAM Erkenning laboratorium (VLAREL)
- 16 Brussels Gewest BIM Erkend laboratorium
- 23 Frankrijk Agrément laboratoire sol_type 5: NO₃ en NH₄
- N-INDEX: Bemestingsexpertsysteem Bodemkundige Dienst van België vzw.



BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIE v.z.w.

W. de Croylaan 48
B-3001 Heverlee
Tel.: 016-31 09 22 - Fax: 016-22 42 08
E-mail info@bdb.be

Leliestraat 63
B-8800 Roeselare
Tel.: 051-20 54 00 - Fax: 051 20 54 20
E-mail info@bdb.be

BNP: BE22 0015 8344 2447
KBC: BE94 7364 0303 0014
PRC: BE95 0000 4991 2358
B.T.W.: BE 420.415.024

Staaln. : CARION IVE
1623 GAVERLAND 62
9620 ZOTTEGEM
0474 / 32 43 07

ILVO - PLANT-EIGEN VERMOGEN

CARITASSTRAAT 39
B 9090 MELLE
Tel.: 09 / 272 29 00

STIKSTOFBEMESTINGSADVIES OP BASIS VAN DE N-INDEXMETHODE

KLANTNUMMER : 315845
Volgnummer B.D. : N2325001
Benaming perceel : S 2

(4/4)

Heverlee, 28 februari 2018

De analyseresultaten hebben uitsluitend betrekking op de geanalyseerde objecten. Het verslag mag niet worden gereproduceerd, behalve in volledige vorm, zonder de schriftelijke toelating van de Bodemkundige dienst van België. Meetonzekerheden van de BELAC geaccrediteerde methodes kunnen aangevraagd worden. Conform BAM versie 3.1 van juni 2010 worden de cijfers afgerond tot op de eenheid.
Einde verslag

3 Bijlage 3

Tabel 46 Overzicht van alle resultaten voor NDVI van alle dronevluchten per proefveldje

proefveldje	19/03/2018				5/04/2018			17/04/2018			17/05/2018		
	totaal E	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std
1	226	1	0,2398	0,2327	0,14	0,3395	0,348	0,1648	0,6059	0,6701	0,2071	0,6746	0,7564
2	197,75	2	0,24	0,2315	0,1425	0,3382	0,3442	0,169	0,5925	0,665	0,2126	0,6921	0,7661
3	169,5	3	0,2324	0,226	0,1365	0,3405	0,3459	0,1659	0,582	0,6448	0,2032	0,6589	0,7422
4	141,25	4	0,2382	0,2299	0,1419	0,332	0,3367	0,1667	0,5877	0,6423	0,1972	0,6613	0,7297
5	113	5	0,2322	0,2227	0,1391	0,3194	0,3201	0,167	0,5432	0,5951	0,1993	0,6598	0,7293
6	254,25	6	0,2346	0,2227	0,1443	0,3419	0,3458	0,176	0,613	0,6754	0,1971	0,6687	0,7352
7	282,5	7	0,2317	0,2232	0,1383	0,3568	0,366	0,1669	0,6388	0,7079	0,2034	0,7091	0,7711
8	310,75	8	0,2407	0,2326	0,1448	0,3534	0,3631	0,1726	0,6386	0,7055	0,1992	0,6694	0,7378
9	339	9	0,2265	0,2124	0,1416	0,3478	0,3556	0,1708	0,6491	0,7173	0,2004	0,7	0,7616
10	195	10	0,2361	0,2274	0,1406	0,3595	0,3685	0,1728	0,6393	0,7076	0,1984	0,6992	0,7532
11	141,25	4	0,2327	0,224	0,1396	0,3391	0,3463	0,1701	0,5633	0,625	0,2042	0,6509	0,7245
12	310,75	8	0,2278	0,2166	0,1397	0,3441	0,35	0,1716	0,6198	0,6779	0,1939	0,6558	0,7274
13	226	1	0,2558	0,25	0,147	0,3884	0,4043	0,1765	0,6305	0,7015	0,206	0,664	0,7489
14	113	5	0,2406	0,2329	0,142	0,332	0,3338	0,1706	0,5733	0,6291	0,1914	0,6036	0,6726
15	339	9	0,222	0,2124	0,1362	0,3618	0,3721	0,1688	0,6495	0,7239	0,2059	0,694	0,7673
16	169,5	3	0,2182	0,205	0,1364	0,3299	0,3318	0,1699	0,6067	0,6702	0,1962	0,6315	0,7052
17	282,5	7	0,2293	0,2179	0,2179	0,3522	0,3631	0,169	0,655	0,7274	0,2096	0,6659	0,7598
18	197,75	2	0,2272	0,2171	0,1369	0,3465	0,3519	0,1699	0,616	0,6707	0,1839	0,6526	0,7205
19	254,25	6	0,2364	0,2288	0,1396	0,3606	0,3715	0,1742	0,6249	0,6947	0,1987	0,6762	0,7535
20	195	10	0,2607	0,2574	0,1438	0,3848	0,3991	0,1731	0,656	0,7347	0,2057	0,6764	0,7495
21	197,75	2	0,2437	0,237	0,1446	0,3542	0,362	0,1759	0,6331	0,7026	0,2036	0,6525	0,7416
22	141,25	4	0,2362	0,2264	0,1429	0,3173	0,3167	0,1695	0,5945	0,6642	0,2066	0,6406	0,7071
23	254,25	6	0,2541	0,251	0,1442	0,3702	0,3819	0,1738	0,6469	0,7207	0,2017	0,6524	0,7485
24	310,75	8	0,2384	0,2313	0,141	0,3573	0,3666	0,1728	0,6323	0,7089	0,2085	0,6483	0,728
25	195	10	0,2467	0,2411	0,1441	0,3721	0,3833	0,1744	0,6477	0,7148	0,1949	0,6758	0,7688
26	226	1	0,2314	0,2212	0,1416	0,3416	0,348	0,1706	0,6187	0,6873	0,1978	0,6684	0,7338
27	169,5	3	0,2176	0,2044	0,1369	0,3276	0,3306	0,1676	0,6337	0,6884	0,1875	0,6525	0,7309
28	113	5	0,215	0,202	0,136	0,3058	0,3039	0,1626	0,564	0,6212	0,1967	0,6292	0,6956
29	282,5	7	0,2179	0,2053	0,1378	0,3342	0,3367	0,1695	0,6509	0,7204	0,1991	0,6534	0,7335
30	339	9	0,2405	0,2345	0,1403	0,3543	0,3637	0,1699	0,6558	0,7255	0,1911	0,6882	0,7433
31	169,5	3	0,2372	0,2265	0,1455	0,3358	0,3396	0,1725	0,612	0,6745	0,1953	0,6306	0,714
32	254,25	6	0,255	0,2485	0,1475	0,357	0,3662	0,1761	0,6348	0,7006	0,1949	0,6682	0,7386
33	339	9	0,226	0,2154	0,1389	0,3433	0,3488	0,1709	0,6415	0,7232	0,2123	0,6484	0,7231
34	226	1	0,2295	0,22	0,1379	0,3312	0,3341	0,17	0,6267	0,6949	0,1976	0,6666	0,7339
35	141,25	4	0,2403	0,2329	0,1399	0,3332	0,3346	0,1719	0,6133	0,6717	0,6293	0,5997	0,6753
36	282,5	7	0,2451	0,2393	0,143	0,3528	0,3597	0,1742	0,6423	0,7095	0,1916	0,6983	0,7645
37	195	10	0,2592	0,2564	0,1444	0,3742	0,3847	0,1745	0,6594	0,7274	0,1931	0,6765	0,7597
38	197,75	2	0,242	0,2346	0,142	0,3387	0,3424	0,1697	0,6157	0,6764	0,1868	0,6814	0,7443

39	113	5	0,2345	0,2266	0,1393	0,3195	0,3222	0,1666	0,5575	0,6178	0,1958	0,6058	0,684	0,1958
40	310,75	8	0,2375	0,2319	0,1371	0,3487	0,3569	0,169	0,6476	0,7185	0,1937	0,6838	0,7477	0,1937
41	254,25	6	0,2161	0,2053	0,1336	0,3277	0,3304	0,1665	0,6617	0,7271	0,1997	0,6631	0,7323	0,1997
42	226	1	0,2385	0,2323	0,1401	0,3357	0,3401	0,1691	0,6397	0,7062	0,1944	0,6751	0,7388	0,1944
43	282,5	7	0,243	0,2365	0,1399	0,3583	0,3677	0,1717	0,6619	0,7308	0,1963	0,6452	0,7168	0,1963
44	141,25	4	0,2246	0,2158	0,1359	0,3099	0,3081	0,1691	0,5742	0,6293	0,1876	0,6369	0,706	0,1876
45	339	9	0,2387	0,2332	0,1371	0,3484	0,3578	0,1703	0,6447	0,7239	0,1933	0,6613	0,7266	0,1933
46	197,75	2	0,2404	0,2327	0,1415	0,3347	0,3364	0,1748	0,6197	0,6776	0,1906	0,667	0,7394	0,1906
47	310,75	8	0,2346	0,2281	0,1376	0,352	0,3598	0,1745	0,6537	0,7249	0,2019	0,6654	0,7347	0,2019
48	169,5	3	0,2184	0,2095	0,1326	0,3484	0,3578	0,1703	0,6447	0,7139	0,1933	0,6536	0,732	0,1933
49	195	10	0,2141	0,2041	0,1317	0,346	0,3509	0,1718	0,6541	0,7211	0,1916	0,6826	0,7619	0,1916
50	113	5	0,2219	0,2134	0,134	0,3138	0,3122	0,1703	0,5582	0,6148	0,1884	0,6259	0,7079	0,1884

Tabel 47 Overzicht van alle resultaten NDRE van alle dronevluchten per proefveldjes

		19 maart 2018				5 april 2018			17 april 2018			17 mei 2018		
proefveldje	totaal E	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	
1	226	1	0,0325	0,027	0,0254	0,0296	0,0249	0,0226	0,0812	0,0772	0,0523	0,1287	0,1288	0,0612
2	197,75	2	0,0311	0,0259	0,024	0,0289	0,024	0,0221	0,0772	0,072	0,0508	0,1166	0,1146	0,0508
3	169,5	3	0,031	0,0258	0,0241	0,0315	0,0273	0,0231	0,0599	0,0532	0,0424	0,0995	0,0966	0,0532
4	141,25	4	0,0321	0,0267	0,0249	0,034	0,0295	0,025	0,0635	0,0583	0,0429	0,0863	0,0833	0,0429
5	113	5	0,0327	0,0273	0,0251	0,0343	0,0296	0,0252	0,0522	0,0462	0,0368	0,0777	0,072	0,0462
6	254,25	6	0,0334	0,0278	0,0257	0,0389	0,0343	0,0278	0,0711	0,0643	0,0486	0,1116	0,11	0,0522
7	282,5	7	0,034	0,0282	0,0263	0,0376	0,0334	0,0261	0,0769	0,0697	0,0521	0,1197	0,1172	0,0697
8	310,75	8	0,0316	0,0264	0,0245	0,0359	0,0313	0,0256	0,0799	0,0725	0,0545	0,1176	0,1152	0,0697
9	339	9	0,0316	0,0263	0,0245	0,0372	0,0326	0,0267	0,0786	0,0734	0,0507	0,1289	0,1278	0,0697
10	195	10	0,0309	0,0257	0,0238	0,0363	0,0318	0,0259	0,0761	0,0684	0,0527	0,1263	0,1251	0,0684
11	141,25	4	0,0315	0,0263	0,0246	0,035	0,035	0,0251	0,0586	0,0522	0,0414	0,0951	0,0901	0,0522
12	310,75	8	0,0295	0,0247	0,0229	0,0343	0,0295	0,025	0,0723	0,0658	0,0485	0,1214	0,121	0,0658
13	226	1	0,0322	0,027	0,0246	0,0409	0,0368	0,0278	0,0697	0,0626	0,0477	0,1182	0,1147	0,0626
14	113	5	0,0341	0,0286	0,026	0,0341	0,0295	0,0249	0,0467	0,0393	0,0356	0,0782	0,0727	0,0467
15	339	9	0,0336	0,0275	0,0266	0,0352	0,0309	0,0252	0,0766	0,0705	0,0497	0,1334	0,1318	0,0766
16	169,5	3	0,0293	0,0242	0,0229	0,0337	0,0294	0,0243	0,0533	0,0466	0,0383	0,0988	0,0944	0,0533
17	282,5	7	0,0332	0,0277	0,0259	0,0385	0,0336	0,0275	0,0681	0,06	0,0492	0,1273	0,1263	0,0681
18	197,75	2	0,0303	0,0249	0,0239	0,0386	0,0339	0,0272	0,0648	0,0546	0,0508	0,1062	0,1028	0,0546
19	254,25	6	0,0326	0,0272	0,0252	0,0396	0,0356	0,0272	0,0682	0,0599	0,049	0,1226	0,1203	0,0682
20	195	10	0,0341	0,0283	0,0265	0,0458	0,0415	0,0307	0,0725	0,0656	0,0487	0,1332	0,1315	0,0656
21	197,75	2	0,0307	0,0259	0,0233	0,0393	0,035	0,0271	0,0643	0,0557	0,0466	0,1104	0,1074	0,0557
22	141,25	4	0,0316	0,0261	0,0248	0,0359	0,0311	0,0265	0,052	0,0444	0,0387	0,0912	0,0854	0,052
23	254,25	6	0,0317	0,0269	0,024	0,038	0,0339	0,0263	0,0678	0,057	0,0524	0,1166	0,1138	0,0678
24	310,75	8	0,0298	0,0244	0,0237	0,0385	0,0341	0,0271	0,0742	0,0638	0,0558	0,1205	0,1182	0,0638
25	195	10	0,0322	0,0266	0,025	0,0403	0,0362	0,0274	0,0714	0,0624	0,052	0,1345	0,1346	0,0624

26	226	1	0,0315	0,0254	0,0255	0,0385	0,0338	0,0275	0,0576	0,0494	0,0424	0,1178	0,1145	0,5
27	169,5	3	0,0314	0,0258	0,0247	0,0328	0,0285	0,0239	0,0533	0,0462	0,0388	0,1057	0,1011	0,06
28	113	5	0,0332	0,0267	0,027	0,0321	0,0272	0,0243	0,0459	0,0368	0,0372	0,0759	0,0698	0,04
29	282,5	7	0,0306	0,0246	0,0248	0,0361	0,0316	0,0259	0,0584	0,0507	0,0428	0,1205	0,1183	0,06
30	339	9	0,0359	0,0294	0,0284	0,0409	0,0359	0,0291	0,0693	0,0589	0,0524	0,1308	0,1284	0,06
31	169,5	3	0,0349	0,0285	0,0276	0,0374	0,033	0,0263	0,0568	0,0452	0,0471	0,1058	0,1036	0,05
32	254,25	6	0,0387	0,0321	0,0299	0,0438	0,039	0,0302	0,0656	0,0569	0,0476	0,1289	0,1265	0,6
33	339	9	0,0332	0,0271	0,0263	0,0373	0,0332	0,0259	0,0652	0,0581	0,0449	0,1288	0,1272	0,6
34	226	1	0,035	0,0285	0,0277	0,0384	0,0339	0,027	0,0507	0,0443	0,0362	0,1205	0,1183	0,06
35	141,25	4	0,0345	0,0289	0,0265	0,0356	0,0311	0,0254	0,0415	0,0344	0,0325	0,0885	0,0834	0,05
36	282,5	7	0,035	0,029	0,0274	0,0426	0,0381	0,0292	0,0582	0,0495	0,0445	0,13	0,127	0,06
37	195	10	0,034	0,0282	0,0262	0,0376	0,0335	0,0261	0,0649	0,0539	0,0521	0,1382	0,137	0,0
38	197,75	2	0,0332	0,0269	0,0266	0,0339	0,0295	0,0247	0,0542	0,0433	0,0441	0,1136	0,11	0,06
39	113	5	0,03	0,0246	0,0237	0,0271	0,0226	0,0208	0,0406	0,0316	0,034	0,0786	0,0713	0,05
40	310,75	8	0,0312	0,0253	0,0252	0,0341	0,0299	0,0245	0,0581	0,0508	0,0415	0,1243	0,122	0,06
41	254,25	6	0,0293	0,0237	0,0235	0,0345	0,0294	0,0256	0,0532	0,0459	0,0387	0,1178	0,1139	0,06
42	226	1	0,0303	0,0243	0,0249	0,0366	0,0317	0,0265	0,0522	0,0443	0,0392	0,1184	0,1147	0,06
43	282,5	7	0,0331	0,027	0,0264	0,0388	0,0337	0,0278	0,0616	0,0535	0,0452	0,1192	0,118	0,06
44	141,25	4	0,0278	0,0221	0,0228	0,028	0,0236	0,0213	0,0476	0,0385	0,0393	0,0872	0,0791	0,05
45	339	9	0,03	0,0247	0,0237	0,0344	0,0296	0,0252	0,0644	0,0566	0,0456	0,1153	0,1133	0,06
46	197,75	2	0,0287	0,0233	0,0233	0,0318	0,0269	0,0238	0,0474	0,0396	0,0366	0,1061	0,1012	0,06
47	310,75	8	0,0303	0,0249	0,0239	0,0336	0,0288	0,0251	0,0522	0,0455	0,0375	0,1135	0,1106	0,0
48	169,5	3	0,0312	0,0249	0,0255	0,0268	0,0223	0,021	0,035	0,0283	0,0286	0,096	0,0909	0,05
49	195	10	0,0282	0,023	0,0225	0,0298	0,0256	0,0219	0,05	0,0432	0,0367	0,1341	0,132	0,07
50	113	5	0,0296	0,0245	0,0232	0,0293	0,0246	0,0222	0,0364	0,0286	0,0307	0,0858	0,08	0,05

Tabel 48 Overzicht van alle resultaten GNDVI van alle dronevluchten per proefveldjes

proefveldje	19 maart 2018					5 april 2018			17 april 2018			17 mei 2018		
	bemesting	gem	med	std		gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std
1	226	1	0,111	0,1029	0,0716	0,2813	0,2955	0,1289	0,3072	0,3204	0,1245	0,4512	0,5135	0,16
2	197,75	2	0,1093	0,1011	0,0712	0,2762	0,2894	0,1265	0,2927	0,3048	0,1263	0,4525	0,5031	0,14
3	169,5	3	0,1079	0,0997	0,0693	0,2778	0,2927	0,1347	0,2785	0,2847	0,1152	0,4292	0,484	0,1
4	141,25	4	0,1075	0,0979	0,0711	0,2689	0,2818	0,1378	0,2627	0,269	0,1137	0,4267	0,473	0,14
5	113	5	0,1062	0,0965	0,0703	0,2699	0,2768	0,1338	0,2308	0,233	0,1096	0,4171	0,4589	0,1
6	254,25	6	0,1105	0,1004	0,0739	0,2798	0,2894	0,1368	0,2958	0,3067	0,1192	0,4609	0,5124	0,14
7	282,5	7	0,1078	0,0981	0,0714	0,2888	0,3029	0,133	0,3206	0,3352	0,1216	0,4745	0,5279	0,15
8	310,75	8	0,1123	0,1039	0,0733	0,2849	0,3	0,1342	0,3226	0,3368	0,1237	0,4654	0,5279	0,15
9	339	9	0,1061	0,0953	0,0718	0,2832	0,2969	0,1346	0,3242	0,3428	0,1224	0,4847	0,538	0,15

10	195	10	0,1098	0,1017	0,0711	0,2954	0,3095	0,1311	0,3158	0,333	0,1262	0,4945	0,5391	0,13
11	141,25	4	0,1131	0,1058	0,0717	0,2827	0,2963	0,1292	0,2558	0,2634	0,1109	0,4348	0,4873	0,1
12	310,75	8	0,1056	0,0967	0,0703	0,2831	0,2952	0,1364	0,3059	0,3202	0,1144	0,4564	0,5153	0,1
13	226	1	0,126	0,1185	0,0786	0,3172	0,3427	0,1391	0,3164	0,333	0,117	0,4499	0,514	0,1
14	113	5	0,1134	0,1048	0,0731	0,2874	0,2981	0,1344	0,2489	0,2563	0,1032	0,408	0,4492	0,14
15	339	9	0,1062	0,0967	0,0707	0,3049	0,3224	0,133	0,3481	0,3706	0,1184	0,474	0,5372	0,16
16	169,5	3	0,102	0,0926	0,068	0,2938	0,3046	0,1286	0,2967	0,3104	0,1099	0,4321	0,484	0,14
17	282,5	7	0,1083	0,0989	0,0718	0,299	0,315	0,1285	0,3582	0,3843	0,1288	0,4524	0,5278	0,18
18	197,75	2	0,1059	0,0982	0,0689	0,2983	0,31	0,1288	0,3168	0,3307	0,1122	0,4457	0,4953	0,14
19	254,25	6	0,1135	0,1055	0,0723	0,2995	0,3153	0,1315	0,3437	0,3657	0,1205	0,46	0,521	0,16
20	195	10	0,1178	0,1107	0,733	0,3189	0,3361	0,1364	0,3647	0,3931	0,1305	0,4741	0,5368	0,15
21	197,75	2	0,1134	0,1056	0,0724	0,3006	0,3136	0,1341	0,336	0,3554	0,1248	0,4427	0,5085	0,17
22	141,25	4	0,1042	0,0944	0,0699	0,2723	0,2811	0,1358	0,2921	0,3083	0,1194	0,4341	0,4788	0,14
23	254,25	6	0,1117	0,1049	0,0702	0,3088	0,3242	0,1368	0,3577	0,3821	0,123	0,4441	0,5156	0,17
24	310,75	8	0,1046	0,0961	0,0681	0,2929	0,3066	0,1416	0,3543	0,3848	0,1312	0,4534	0,514	0,15
25	195	10	0,1076	0,0993	0,0697	0,3081	0,323	0,1378	0,359	0,3845	0,1266	0,4669	0,5422	0,17
26	226	1	0,1026	0,0923	0,0691	0,291	0,3019	0,1328	0,3341	0,3524	0,1194	0,4627	0,5141	0,15
27	169,5	3	0,095	0,0847	0,066	0,2824	0,2897	0,1279	0,3146	0,3284	0,1148	0,4394	0,4985	0,16
28	113	5	0,0943	0,084	0,0652	0,2722	0,2811	0,1238	0,2616	0,2688	0,1104	0,4094	0,4513	0,1
29	282,5	7	0,0979	0,0871	0,0675	0,2881	0,2986	0,1238	0,347	0,3685	0,1238	0,4524	0,5148	0,16
30	339	9	0,1051	0,097	0,0688	0,2985	0,3129	0,1331	0,3575	0,3872	0,1298	0,4752	0,5211	0,14
31	169,5	3	0,1109	0,101	0,0739	0,2973	0,3069	0,1295	0,3227	0,344	0,1249	0,4331	0,4939	0,16
32	254,25	6	0,1164	0,1067	0,0753	0,3044	0,3183	0,1398	0,3478	0,3761	0,1332	0,4596	0,5147	0,15
33	339	9	0,1005	0,0912	0,0676	0,2947	0,3088	0,1292	0,3682	0,3959	0,131	0,4554	0,517	0,16
34	226	1	0,1037	0,0951	0,0681	0,2848	0,2964	0,1309	0,3308	0,351	0,1253	0,4554	0,5049	0,15
35	141,25	4	0,1057	0,0971	0,0692	0,2899	0,2996	0,132	0,3023	0,3134	0,1148	0,4068	0,4602	0,15
36	282,5	7	0,111	0,1028	0,0711	0,3031	0,3161	0,1282	0,3481	0,3671	0,122	0,4715	0,5255	0,15
37	195	10	0,1129	0,1051	0,0718	0,3119	0,326	0,1282	0,3575	0,3806	0,1226	0,4698	0,5372	0,16
38	197,75	2	0,1053	0,0959	0,0696	0,2898	0,3007	0,1229	0,3188	0,3365	0,118	0,4614	0,508	0,14
39	113	5	0,1031	0,094	0,0678	0,2761	0,2849	0,1226	0,272	0,2833	0,1076	0,3973	0,4418	0,15
40	310,75	8	0,0993	0,0907	0,0654	0,2946	0,3075	0,1228	0,3515	0,3755	0,1249	0,4624	0,5135	0,15
41	254,25	6	0,0942	0,0846	0,0645	0,2867	0,2971	0,1149	0,3557	0,3725	0,1194	0,4521	0,5062	0,15
42	226	1	0,1001	0,0914	0,066	0,2884	0,2979	0,1202	0,3335	0,3539	0,1206	0,454	0,5012	0,14
43	282,5	7	0,1052	0,0961	0,0685	0,3014	0,3138	0,1166	0,359	0,381	0,1157	0,4395	0,4995	0,15
44	141,25	4	0,0965	0,0885	0,0641	0,2695	0,2748	0,1157	0,2696	0,281	0,1054	0,4032	0,443	0,14
45	339	9	0,102	0,0938	0,0667	0,2947	0,3065	0,1146	0,3577	0,3836	0,1174	0,443	0,4957	0,14
46	197,75	2	0,1061	0,0978	0,0692	0,2804	0,2889	0,1169	0,317	0,3309	0,1143	0,4241	0,4711	0,15
47	310,75	8	0,1035	0,0957	0,0671	0,2839	0,2955	0,117	0,3617	0,3781	0,1252	0,4301	0,4821	0,14
48	169,5	3	0,0975	0,0888	0,0646	0,273	0,2824	0,1126	0,307	0,3218	0,1154	0,4024	0,4495	0,14

49	195	10	0,0962	0,0875	0,0642	0,2855	0,2952	0,1137	0,3575	0,3809	0,1156	0,4432	0,5013	0,15
50	113	5	0,0953	0,0866	0,0633	0,2647	0,2708	0,115	0,2562	0,2665	0,1039	0,3645	0,4081	0,14

Tabel 49 Overzicht van alle resultaten GRVI van alle dronevluchten per proefveldjes

			19/03/2018			5/04/2018			17/04/2018			17/05/2018		
proefveldje	Bemesting		gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std	gem	med	std
1	226	1	0,1418	0,1355	0,0845	0,1084	0,0974	0,0743	0,3977	0,442	0,1629	0,1079	0,0969	0,07
2	197,75	2	0,1439	0,1368	0,0873	0,1155	0,1044	0,0788	0,4033	0,4476	0,157	0,1152	0,1037	0,0
3	169,5	3	0,1366	0,1304	0,0821	0,1082	0,0955	0,0759	0,383	0,432	0,1632	0,1081	0,0956	0,07
4	141,25	4	0,1434	0,1363	0,0877	0,1045	0,0918	0,0738	0,4108	0,4455	0,1626	0,1046	0,0922	0,07
5	113	5	0,138	0,13	0,0843	0,1007	0,0892	0,0709	0,3743	0,4116	0,1615	0,1007	0,0891	0,0
6	254,25	6	0,1371	0,128	0,0872	0,1108	0,0998	0,0751	0,4232	0,4606	0,1517	0,1107	0,0999	0,07
7	282,5	7	0,1348	0,1272	0,0829	0,1136	0,1043	0,0756	0,4342	0,4854	0,1637	0,1133	0,1039	0,07
8	310,75	8	0,141	0,133	0,085	0,116	0,1046	0,0784	0,4211	0,4721	0,1678	0,1163	0,1048	0,07
9	339	9	0,1334	0,1237	0,0857	0,109	0,0994	0,0733	0,4404	0,4928	0,1659	0,1089	0,0994	0,07
10	195	10	0,1397	0,1319	0,0859	0,1185	0,1078	0,0799	0,4403	0,4843	0,1578	0,1184	0,1077	0,07
11	141,25	4	0,1309	0,1219	0,0831	0,1098	0,0973	0,0764	0,3697	0,4165	0,1714	0,11	0,0977	0,07
12	310,75	8	0,1347	0,1256	0,0855	0,1082	0,098	0,0738	0,4254	0,4571	0,1488	0,1081	0,0978	0,07
13	226	1	0,1424	0,136	0,0866	0,123	0,1107	0,0844	0,4012	0,4642	0,1834	0,1233	0,1115	0,08
14	113	5	0,1394	0,1323	0,0866	0,0954	0,0856	0,0661	0,3883	0,4321	0,1637	0,096	0,0862	0,06
15	339	9	0,1284	0,1202	0,0805	0,1064	0,096	0,0732	0,4197	0,4772	0,1729	0,1064	0,0959	0,07
16	169,5	3	0,1279	0,1174	0,084	0,0955	0,0849	0,0668	0,3964	0,4442	0,1628	0,0957	0,0854	0,06
17	282,5	7	0,1341	0,1238	0,087	0,1035	0,095	0,0689	0,4231	0,4745	0,1697	0,1037	0,0949	0,06
18	197,75	2	0,1342	0,1256	0,0838	0,1015	0,0912	0,0698	0,3925	0,4324	0,1454	0,1014	0,0908	0,06
19	254,25	6	0,1367	0,1281	0,0853	0,1136	0,1044	0,0752	0,3879	0,4346	0,1536	0,1139	0,1048	0,07
20	195	10	0,1574	0,1537	0,0898	0,1156	0,1061	0,0774	0,4282	0,4777	0,1532	0,1159	0,1065	0,07
21	197,75	2	0,1424	0,1338	0,0897	0,1102	0,1012	0,0733	0,4026	0,4538	0,1687	0,1101	0,1008	0,07
22	141,25	4	0,1453	0,1372	0,0903	0,0954	0,0858	0,0659	0,3984	0,4409	0,1623	0,0953	0,0854	0,06
23	254,25	6	0,1556	0,1502	0,0917	0,1143	0,1037	0,0765	0,4056	0,4588	0,1619	0,1146	0,1042	0,07
24	310,75	8	0,1454	0,1386	0,0897	0,1071	0,0983	0,0715	0,3971	0,444	0,1526	0,1068	0,0981	0,07
25	195	10	0,1532	0,1468	0,0915	0,1123	0,1035	0,0742	0,411	0,4544	0,1465	0,1129	0,1045	0,07
26	226	1	0,14	0,1301	0,0892	0,1038	0,0936	0,0703	0,39	0,4376	0,1512	0,1038	0,0942	0,0

27	169,5	3	0,1355	0,1252	0,0864	0,1035	0,0908	0,0745	0,4148	0,4592	0,1632	0,1035	0,0907	0,07
28	113	5	0,1335	0,1236	0,0854	0,097	0,0826	0,0726	0,3714	0,4134	0,1589	0,0971	0,0827	0,07
29	282,5	7	0,1331	0,1222	0,0858	0,1082	0,097	0,0749	0,4169	0,472	0,165	0,1079	0,0967	0,07
30	339	9	0,149	0,1433	0,0882	0,1088	0,0985	0,074	0,4204	0,4638	0,1455	0,1087	0,0985	0,07
31	169,5	3	0,1402	0,1305	0,0888	0,1022	0,0918	0,0705	0,3875	0,4277	0,1509	0,1022	0,0921	0,07
32	254,25	6	0,1529	0,1471	0,0913	0,1048	0,0957	0,0697	0,4008	0,4406	0,1431	0,1051	0,0961	0,07
33	339	9	0,1377	0,1285	0,0877	0,1085	0,0979	0,0745	0,4016	0,4543	0,1573	0,01084	0,0976	0,07
34	226	1	0,1374	0,1293	0,0864	0,1005	0,0901	0,0691	0,3962	0,4492	0,1601	0,1001	0,0898	0,06
35	141,25	4	0,1483	0,1416	0,0881	0,0996	0,0892	0,069	0,4001	0,4438	0,1685	0,0994	0,0886	0,06
36	282,5	7	0,1471	0,1399	0,0895	0,1094	0,101	0,0731	0,406	0,4568	0,1509	0,1092	0,1005	0,07
37	195	10	0,1603	0,1562	0,0922	0,1172	0,1081	0,0769	0,4239	0,4749	0,1544	0,1174	0,1084	0,07
38	197,75	2	0,1516	0,1456	0,0903	0,1073	0,0965	0,074	0,3942	0,4346	0,1439	0,1074	0,0966	0,07
39	113	5	0,1436	0,1359	0,0886	0,0979	0,0872	0,0684	0,362	0,3967	0,1498	0,0976	0,0872	0,06
40	310,75	8	0,1523	0,1476	0,0888	0,1085	0,0997	0,0716	0,4112	0,4642	0,1546	0,1084	0,0998	0,07
41	254,25	6	0,1344	0,1254	0,0845	0,1017	0,0923	0,0693	0,4311	0,4794	0,1706	0,1015	0,092	0,0
42	226	1	0,1514	0,1448	0,0915	0,1008	0,092	0,0678	0,4122	0,4631	0,1617	0,101	0,0924	0,06
43	282,5	7	0,1525	0,1466	0,0888	0,1143	0,1062	0,0743	0,426	0,4755	0,1655	0,1143	0,106	0,07
44	141,25	4	0,1395	0,1305	0,088	0,0982	0,0892	0,0668	0,3771	0,4139	0,1535	0,0987	0,0895	0,06
45	339	9	0,15	0,1451	0,0876	0,1098	0,1014	0,0718	0,4131	0,4527	0,1438	0,1097	0,1014	0,07
46	197,75	2	0,1472	0,1388	0,0899	0,1124	0,1025	0,0753	0,3972	0,4346	0,1602	0,1123	0,1027	0,07
47	310,75	8	0,1428	0,135	0,0872	0,1201	0,1113	0,0775	0,4164	0,4627	0,1631	0,1201	0,116	0,07
48	169,5	3	0,1332	0,1255	0,0829	0,1093	0,0998	0,073	0,3898	0,4368	0,1653	0,1092	0,0998	0,07
49	195	10	0,1279	0,1187	0,0821	0,1153	0,1056	0,077	0,4069	0,4617	0,1624	0,1153	0,1054	0,07
50	113	5	0,1386	0,1305	0,0862	0,1035	0,0909	0,0739	0,3631	0,4036	0,1569	0,1034	0,091	0,0

4 Bijlage 4

De mediaan van ieder proefveldje per bemestingstrap werd met elkaar vergeleken in plaats van het gemiddelde. Doordat het gemiddelde niet veel afwijkt van de mediaan worden ongeveer dezelfde resultaten bekomen. Wel valt op dat voor GRVI een beter onderscheidt terug gevonden wordt dan bij GRVI op basis van het gemiddelde. Wel is het verschil niet zo groot waardoor de parameter vaak nog waardeloos is.

Tabel 50 Resultaten van Anova analyse op basis van mediaan met nulhypothese = geen verschil tussen de verschillende bemestingstrappen

Datum	Parameter	F	p-waarde	Conclusie
19 maart 2018	NDVI	1,301	0,267	H ₀ aanvaarden
	NDRE	0,841	0,583	H ₀ aanvaarden
	GNDVI	0,813	0,608	H ₀ aanvaarden
	GRVI	0,961	0,486	H ₀ aanvaarden
5 april 2018	NDVI	6,049	<0,0005	H ₀ verwerpen
	NDRE	2,331	0,032	H ₀ verwerpen
	GNDVI	4,033	0,001	H ₀ verwerpen
	GRVI	6,746	<0,0005	H ₀ verwerpen
17 april 2018	NDVI	23,368	<0,0005	H ₀ verwerpen
	NDRE	3,519	0,003	H ₀ verwerpen
	GNDVI	14,866	<0,0005	H ₀ verwerpen
	GRVI	10,619	<0,0005	H ₀ verwerpen
17 mei 2018	NDVI	6,643	<0,0005	H ₀ verwerpen
	NDRE	63,014	<0,0005	H ₀ verwerpen
	GNDVI	16,069	<0,0005	H ₀ verwerpen
	GRVI	6,101	<0,0005	H ₀ verwerpen

Tabel 51 Resultaat voor NDVI op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)			
1	90		b	c
2	78,75	a	b	c
3	67,5	a	b	
4	56,25	a	b	
5	45	a		
6	101,25		b	c
7	112,5		b	c
8	123,75		b	c
9	135		b	c
10	110			c
p-waarde		0,13	0,079	0,104

Tabel 52 Resultaat voor NDVI op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)				
1	90			c	d
2	78,75		b	c	
3	67,5		b		
4	56,25	a	b		
5	45	a			
6	101,25			c	d
7	112,5			c	d
8	123,75			c	d
9	135			c	d
10	110			c	d
p-waarde		0,109	0,086	0,169	0,112

Tabel 53 Resultaat voor NDVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Totale bemesting (kg N/ha)			
1	150		b	c
2	131,25	a	b	c
3	112,5	a	b	
4	93,75	a	b	
5	75	a		
6	168,75		b	c
7	187,5		b	c
8	206,25		b	c
9	225		b	c
10	195			c
p-waarde		0,13	0,079	0,104

Tabel 54 Resultaat voor NDRE op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)	
1	90	a
2	78,75	a
3	67,5	a
4	56,25	a
5	45	a
6	101,25	a
7	112,5	a
8	123,75	a
9	135	a
10	110	a
p-waarde		0,069

Tabel 55 Resultaat voor NDRE op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Totale bemesting (kg N/ha)		
1	150	a	b
2	131,25	a	b
3	112,5	a	b
4	93,75	a	b
5	75	a	
6	168,75	a	b
7	187,5	a	b
8	206,25		b
9	225		b
10	195		b
p-waarde		0,069	0,09

Tabel 56 Resultaat voor NDRE op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)					
1	90			c	d	
2	78,75		b	c		
3	67,5		b			
4	56,25	a				
5	45	a				
6	101,25			c	d	
7	112,5				d	e
8	123,75			c	d	
9	135				d	e
10	110					e
p-waarde		0,057	0,130	0,061	0,245	0,076

Tabel 57 Resultaat voor GNDVI op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)			
1	90	a	b	c
2	78,75	a	b	c
3	67,5	a	b	c
4	56,25	a	b	
5	45	a		
6	101,25		b	c
7	112,5		b	c
8	123,75	a	b	c
9	135		b	c
10	110			c
p-waarde		0,13	0,079	0,104

Tabel 58 Resultaat voor GNDVI op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)				
1	90			c	d
2	78,75		b	c	d
3	67,5		b	c	
4	56,25	a	b		
5	45	a			
6	101,25			c	d
7	112,5				d
8	123,75			c	d
9	135				d
10	110				d
p-waarde		0,736	0,081	0,109	0,085

Tabel 59 Resultaat voor GNDVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Totale bemesting (kg N/ha)					
1	150			c	d	e
2	131,25		b	c	d	
3	112,5		b	c		
4	93,75	a	b			
5	75	a				
6	168,75			c	d	e
7	187,5				d	e
8	206,25			c	d	e
9	225				d	e
10	195					e
p-waarde		0,201	0,129	0,060	0,292	0,457

Tabel 60 Resultaat voor GRVI op 5 april 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)				
1	90	a	b	c	d
2	78,75		b	c	d
3	67,5	a	b	c	
4	56,25	a	b		
5	45	a			
6	101,25		b	c	d
7	112,5		b	c	d
8	123,75			c	d
9	135		b	c	d
10	110				D
p-waarde		0,092	0,069	0,082	0,106

Tabel 61 Resultaat voor GRVI op 17 april 2018 voor Tukey posthoc-test

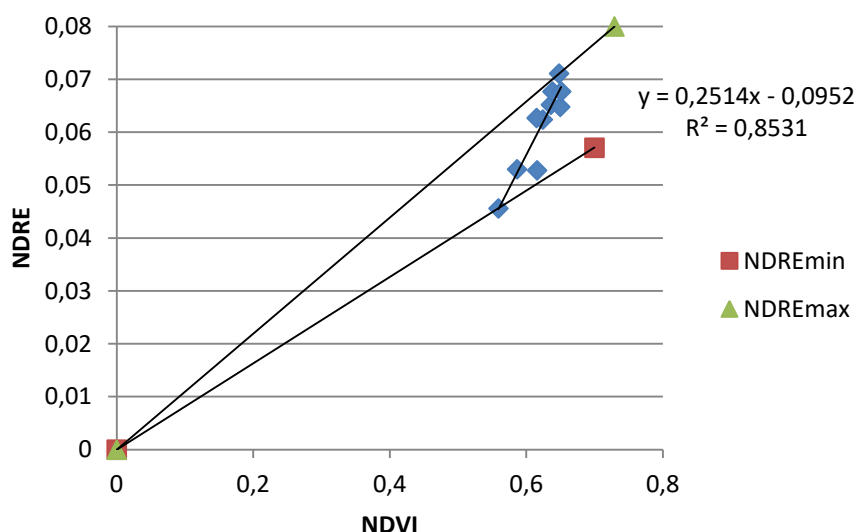
Bemestingstrap	Eerste fractie (kg N/ha)				
1	90		b	c	d
2	78,75		b	c	
3	67,5		b	c	
4	56,25	a	b		
5	45	a			
6	101,25		b	c	d
7	112,5				d
8	123,75		b	c	d
9	135			c	d
10	110				d
p-waarde		0,326	0,055	0,050	0,267

Tabel 62 Resultaat voor GRVI op 17 mei 2018 voor Tukey posthoc-test

Bemestingstrap	Totale bemesting (kg N/ha)				
1	150	a	b	c	d
2	131,25		b	c	d
3	112,5	a	b	c	
4	93,75	a	b		
5	75	a			
6	168,75		b	c	d
7	187,5		b	c	d
8	206,25			c	d
9	225		b	c	d
10	195				d
p-waarde		0,134	0,134	0,075	0,150

5 Bijlage 5

Een plantparameter per proefveldje wordt bepaald door van alle pixels binnen een proefveldje, zonder de bodempixels, het gemiddelde, mediaan en standaardafwijking te bepalen. Voor CCCI te berekenen kan er gewerkt worden via het gemiddelde en via de mediaan. Om de CCCI te berekenen (Tabel 63) wordt de verhouding opgesteld tussen NDVI en NDRE en de minimum en maximum waarde van NDRE bepaald.

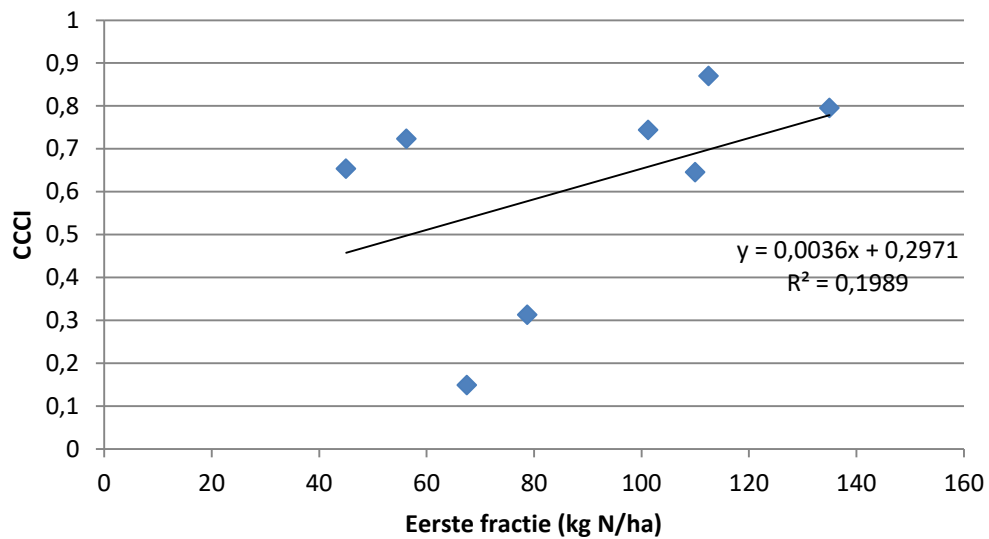


Figuur 134 Relatie tussen NDVI en NDRE met NDREmin en NDREmax aangeduidt om CCCI te berekenen op basis van dronevlucht 17 april 2018

Tabel 63 Overzicht van CCCI per bemestingstrap op basis van dronevlucht 17 april 2018

Bemestingstrap	NDVI	NDRE	Eerste fractie (kgN/ha)	CCCI
1	0,6243	0,0624	45	0,653827
2	0,6152	0,0627	56,25	0,723611
3	0,6159	0,0528	67,5	0,148988
4	0,5866	0,053	78,75	0,31307
5	0,5593	0,0456	90	0
6	0,6361	0,0652	101,25	0,744251
7	0,6498	0,0648	110	0,645701
8	0,6384	0,0677	112,5	0,870135
9	0,6481	0,0711	123,75	1
10	0,6513	0,0677	135	0,795586

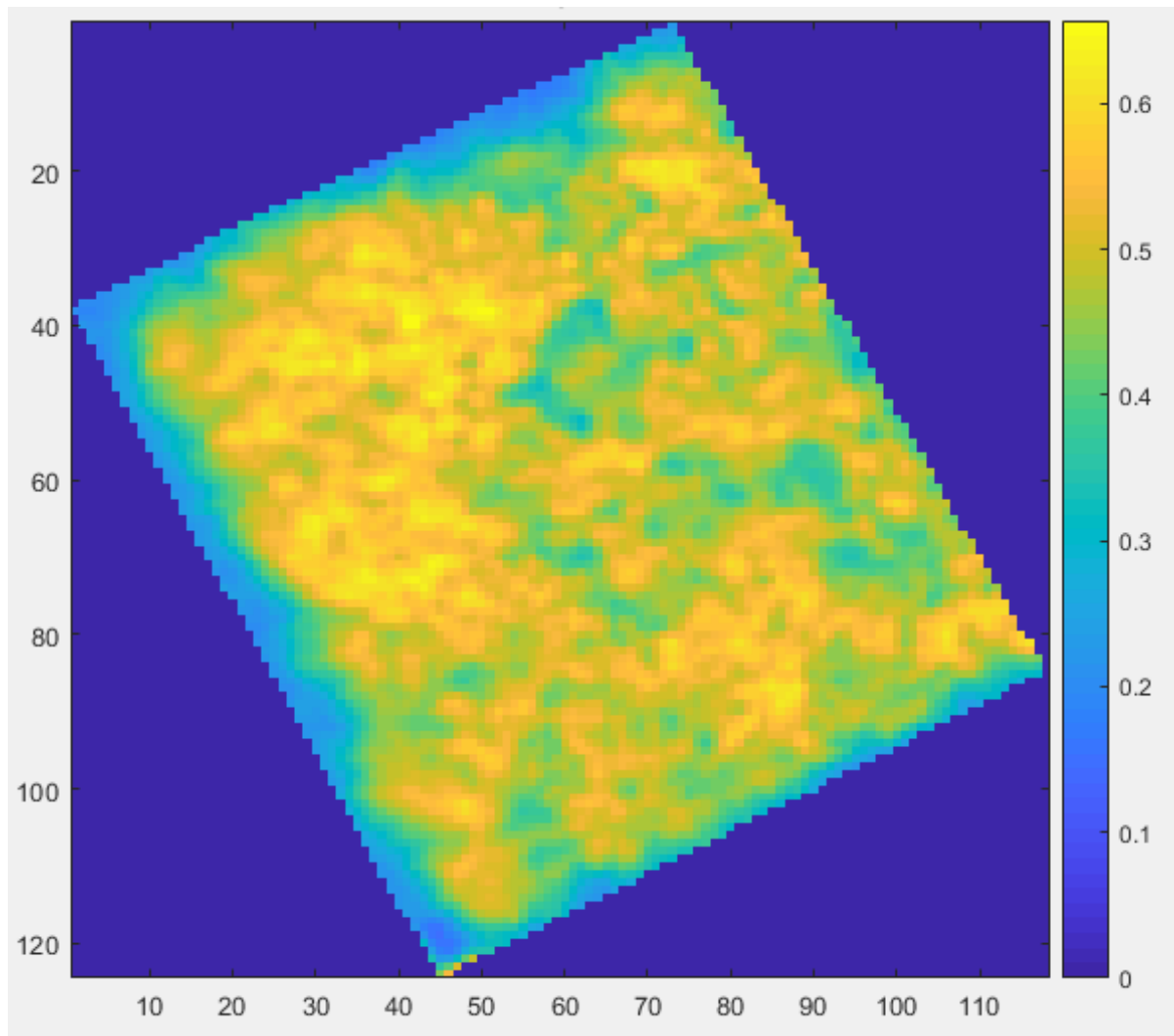
Na de CCCI te bepalen wordt deze nu in relatie gebracht met de bemesting die al uitgevoerd is. Na het uitvoeren van een lineaire regressie blijkt dat er een correlatie terug te vinden is van 0,1989, wat weinig is. Er kan dus besloten worden dat er een verband is, maar dit verband te klein is om hierop verder te bouwen. Het gebruik van het gemiddelde van een proefveldje is dus geen goede methode om de CCCI te bepalen.



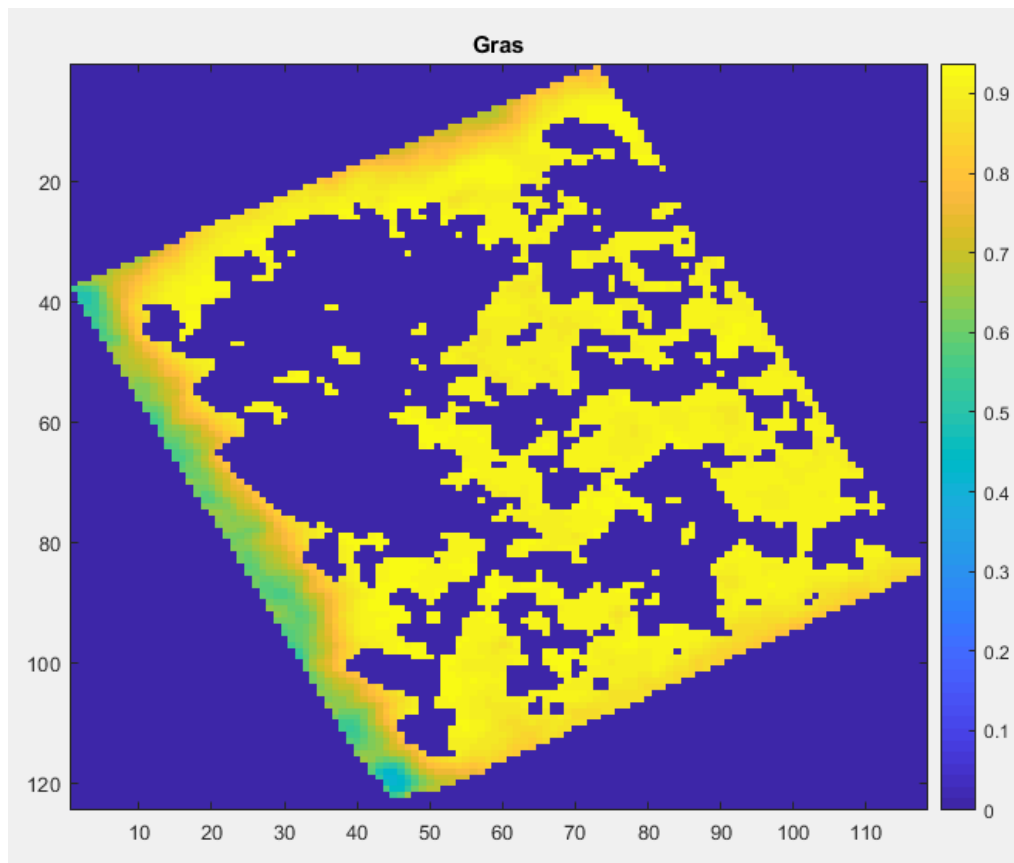
Figuur 135 Relatie tussen CCCI en de eerste fractiebemesting op basis van dronevlucht 17 april 2018

6 Bijlage 6

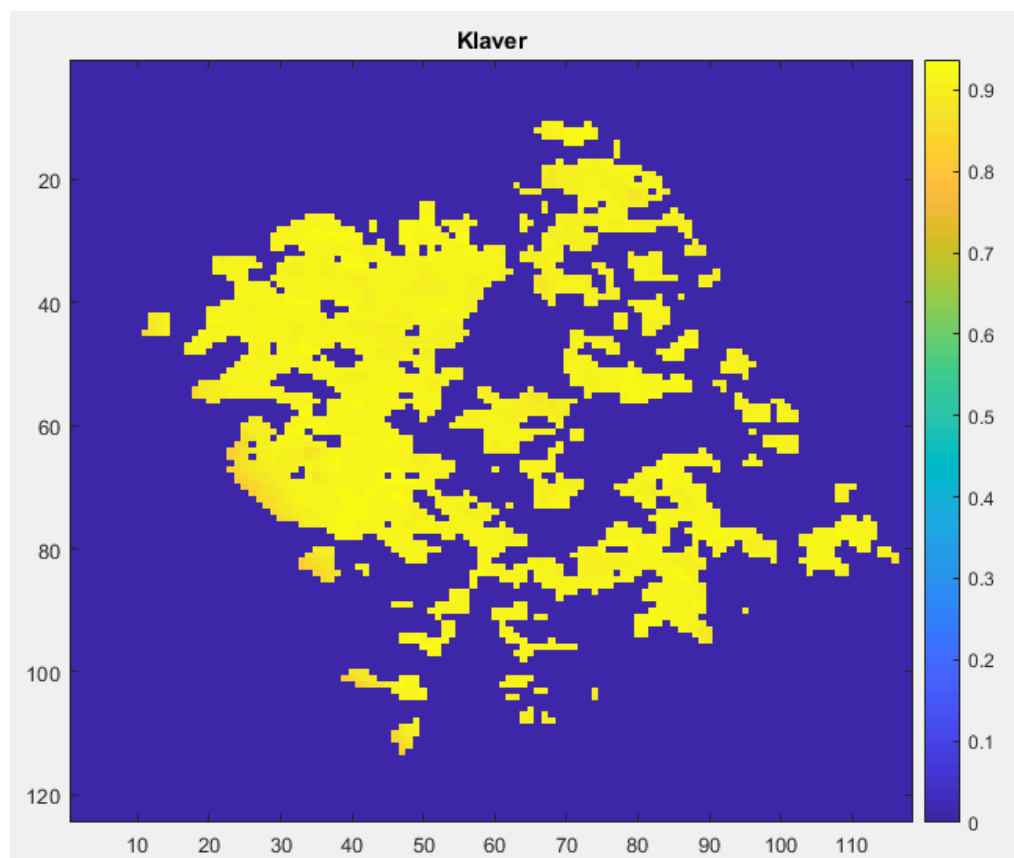
Om via de reflectie beelden de verhouding tussen gras en klaver in te schatten werd in Matlab een code geschreven die aan de hand van twee masks het onderscheidt tussen gras (Figuur 137) en klaver (Figuur 138) maken. Hierbij werd voor de ene mask gewerkt met de NIR reflectie, voor de andere met red edge-reflectie. Om nu een threshold op te stellen waar het onderscheidt gemaakt kan worden tussen gras en klaver werd de reflectie van 100% gras en 100% klaver met elkaar vergeleken. Hierbij wordt vanuit gegaan dat de verdeling normaal is.



Figuur 136 Ruw beeld van plot 1, hierop wordt het verschil gras klaver bepaald



Figuur 137 Resultaat na gebruik van de threshold, waar enkel gras overblijft



Figuur 138 Resultaat na gebruik van de threshold, waar enkel klaver overblijft

Tabel 64 Waarden voor NIR-reflectie

	gemiddelde	mediaan	standaardafwijking
Klaver	0,5640	0,5676	0,0576
Gras	0,4333	0,4326	0,0344

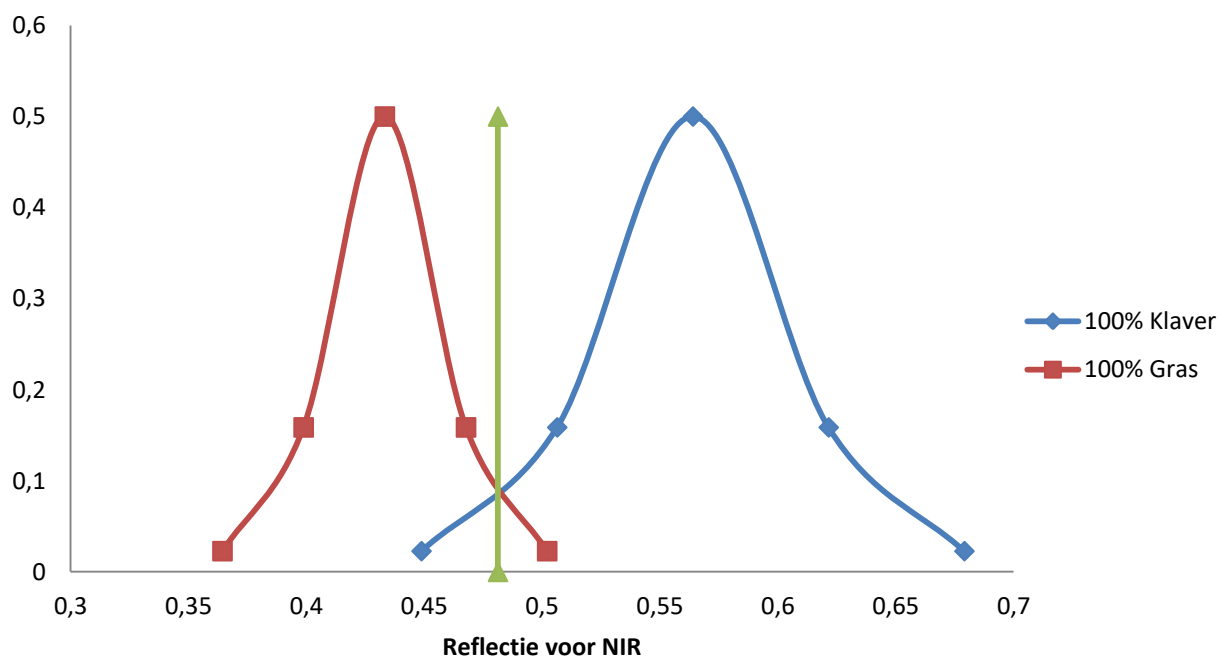
Tabel 65 Opdeling van de verdeling voor NIR

	$\mu-2\sigma$	$\mu-\sigma$	μ	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$
Klaver	0,448831	0,5064	0,5640	0,6216	0,679162
Gras	0,364389	0,3988	0,4333	0,4677	0,502134

Enkele gemiddelden worden berekend tussen de twee verdelingen om dit later te testen als threshold.

Tabel 66 Berekenen van thresholds tussen de twee verdelingen voor NIR

Gemiddelde tussen	Reflectiewaarde
$\mu-\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ van gras	0,4871
$\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+2\sigma$ van gras	0,4755
$\mu-\sigma$ en $\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ en $\mu+2\sigma$ van gras	0,4813
$\mu-\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ van gras	0,4986



Figuur 139 Grafiek waar de twee verdelingen worden weergegeven voor NIR-reflectie en met groene lijn het gemiddelde tussen $\mu-\sigma$ en $\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ en $\mu+2\sigma$ van gras

Tabel 67 Waarden voor de red edge reflectie

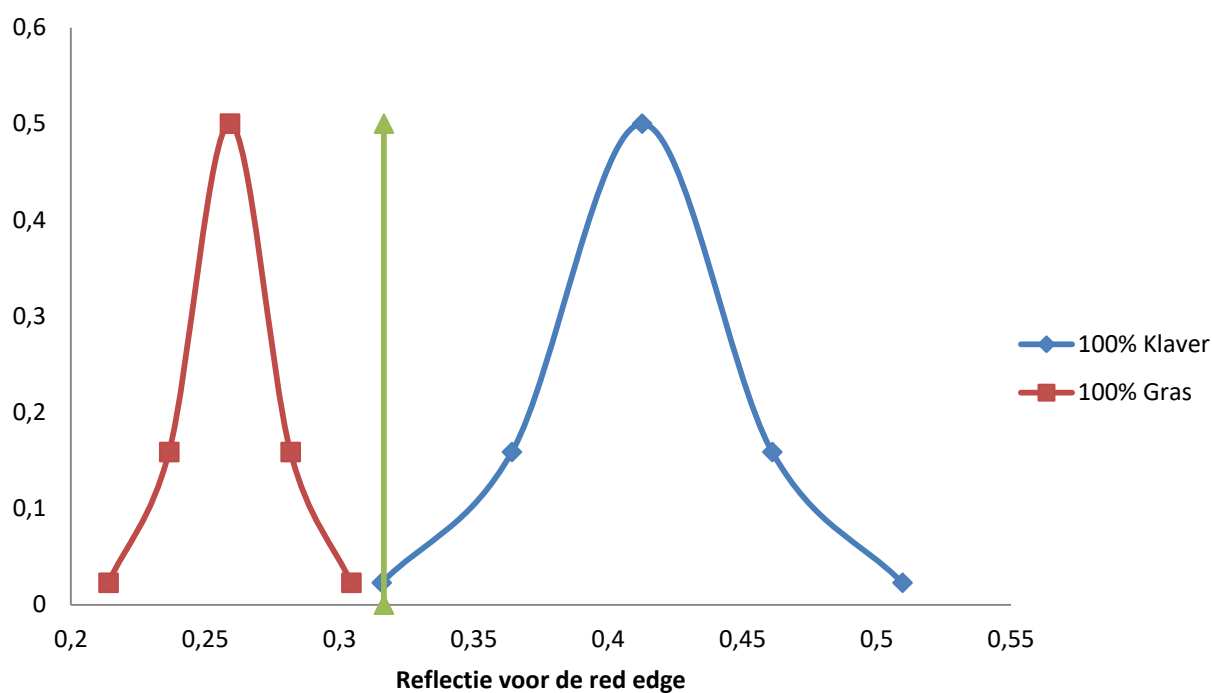
	gem	med	σ
Klaver	0,4126	0,4157	0,0485
Gras	0,2592	0,2589	0,0226

Tabel 68 Opdeling van de verdeling voor red edge

Normale verdeling:						
		$\mu-2\sigma$	$\mu-\sigma$	μ	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$
100%	Klaver	0,315666	0,3642	0,4126	0,4611	0,509604
100%	Gras	0,213946	0,2366	0,2592	0,2818	0,304376
	Y-waarden	0,02275	0,15865	0,5	0,15865	0,02275

Tabel 69 Berekenen van thresholds tussen de twee verdelingen voor red edge

Gemiddelde tussen	Reflectiewaarde
$\mu-\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ van gras	0,3230
$\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+2\sigma$ van gras	0,3100
$\mu-\sigma$ en $\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ en $\mu+2\sigma$ van gras	0,3165
$\mu-\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ van gras	0,3359



Figuur 140 Grafiek waar de twee verdelingen worden weergegeven voor red edge reflectie en met groene lijn het gemiddelde tussen $\mu-\sigma$ en $\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ en $\mu+2\sigma$ van gras

De bekomen thresholds voor reflectie van NIR en RE worden nu in de matlab code ingevoerd en leveren Tabel 70 als resultaat.

Tabel 70 Resultaat na schatting met verschillende thresholds

		Geschatte verhouding tussen klaver en gras met threshold:			Werkelijke verhouding
		Gemiddelde tussen $\mu-\sigma$ en $\mu-2\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ en $\mu+2\sigma$ van gras (%)	Gemiddelde tussen $\mu-\sigma$ van klaver en $\mu+\sigma$ van gras (%)	Gemiddelde tussen μ klaver en μ gras (%)	Verhouding vers (%)
Proefveldje 1	klaver	52,22	47,89	39,88	42,37
	gras	48,78	52,11	60,12	57,63
Proefveldje 4	klaver	46,24	42,12	34,06	36,14
	gras	53,76	57,88	65,94	63,86
Proefveldje 6	klaver	75,41	72,90	67,36	60,5
	gras	24,59	27,10	32,64	39,5

Na het bestuderen van deze gegevens werd blijkt dat het gemiddelde tussen de twee populatiegemiddelden de beste benadering maakt. Wel moet opgemerkt worden dat er vanuit gegaan wordt dat de verdelingen normaal verdeeld zijn. Daarnaast werd slecht één proefveldje gras en klaver gebruikt om de verdeling op te stellen.

Voor een beter resultaat zou deze proef moeten herdaan worden waarbij verschillende gras klaver mengels bepaald worden. Daarnaast moeten ook verschillende proefvelden waarbij 100% gras en 100% klaver gezaaid zijn onderzocht worden en een mogelijke populatie gemiddelde en variatie bepaald worden. Waarna een mogelijk threshold kan opgesteld worden om het onderscheid te maken.

Maar er kan besloten worden dat door het in kaart brengen van de verdeling van gras en van klaver een waarde kan opgesteld worden die bij benadering de werkelijke verhouding gras klaver kan inschatten. Wel is er verder onderzoek nodig om dit exacter te bepalen.

7 Bijlage 7

Tabel 71 Resultaat van repeated measurement ANOVA

Solution for Fixed Effects									
Effect	Tijd	Behandeling	β	S.E	p-waarde				
Intercept			0.2390	0.006398					
Tijd					< 0,001				
	1		ref	.					
	2		0.1083	0.009056					
	3		0.3853	0.008984					
	4		0.4307	0.009572					
Behandeling					< 0,001				
	1	0	.						
	2	-0.00034	0.009049						
	3	-0.01424	0.009049						
	4	-0.00460	0.009049						
	5	-0.01016	0.009049						
	6	0.000240	0.009049						
	7	-0.00560	0.009049						
	8	-0.00320	0.009049						
	9	-0.00826	0.009049						
	10	0.004360	0.009049						
						Ls means			
Tijd*					< 0,001				
Behandeling									
	2	2	-0.00448	0.01281		0,3425	a	b	c
	2	3	0.003400	0.01281		0,3364	a	b	
	2	4	-0.01638	0.01281		0,3263	a	b	
	2	5	-0.01902	0.01281		0,3181	a		
	2	6	0.003960	0.01281		0,3515		b	c
	2	7	0.009180	0.01281		0,3509		b	c
	2	8	0.007020	0.01281		0,3511		b	c
	2	9	0.01210	0.01281		0,3511		b	c
	2	10	0.01568	0.01281		0,3673			c
	2	1	0	.		0,3473		b	c
	3	2	-0.00856	0.01271		0,6154		b	c
	3	3	0.005760	0.01271		0,6158		b	c
	3	4	-0.03310	0.01271		0,5866	a	b	
	3	5	-0.05490	0.01271		0,5592	a		
	3	6	0.01172	0.01271		0,6363			c d
	3	7	0.03108	0.01271		0,6498			d
	3	8	0.01730	0.01271		0,6384			c d
	3	9	0.03208	0.01271		0,6481			d
	3	10	0.02264	0.01271		0,6513			d
	3	1	0	.		0,6243			c d

4	2	-0.00028	0.01354	0,6691	b	c
4	3	-0.01008	0.01354	0,6454	a	b c
4	4	-0.02726	0.01354	0,6379	a	b
4	5	-0.03472	0.01354	0,6249	a	
4	6	-0.00426	0.01354	0,6657	b	c
4	7	0.01024	0.01354	0,6744	b	c
4	8	-0.00200	0.01354	0,6645	b	c
4	9	0.01690	0.01354	0,6784		c
4	10	0.008000	0.01354	0,6821		c
4	1	0	. .	0,6697	b	c

Wanneer deze resultaten vergeleken worden met de bekomen waarden in Resultaten op pagina 99. Worden dezelfde resultaten bekomen. Daarnaast bevestigt dit ook de stelling dat de gemiddelde NDVI per bemestingstrap per dronevlucht van elkaar verschilt. Omdat op deze manier hetzelfde resultaat werd bekomen werd dit slechts gedaan voor het gemiddelde van NDVI.