



Op naar precisielandbouw 2.0

Eindrapport PPS PL2.0 2015-2019 topsectorproject AF-14275

Op naar precisielandbouw 2.0



Eindrapport PPS PL2.0 2015-2019 topsectorproject AF-14275

Corné (C.) Kempenaar¹, Chris (C.J.) van Dijk¹, Geert (G.M.) Hermans², Susan (S.C.) Steele-Dun³, Corné (C.) van der Sande⁴, Jeroen (J.) Verschoore⁵, Tamme (T.) van der Wal⁵, Gerbert (G.J.) Roerink¹, Jurriaan (J.) Visser⁶, Jan (J.A.L.) Kamp¹, Pieter (P.M.) Blok¹, Gerrit (G.) Polder¹, Jan (J.M.) van der Wolf¹, Henk (H.) Jalink⁹, Annette (A.) Bulle⁷, Bert (E.J.J.) Meurs¹, Jean-Marie (J.M.) Michielsen¹, Jan (J.C.) van de Zande¹, Idse (I.E.) Hoving¹, Johan (J.W.) van Riel¹, Gertjan (G.) Holshof¹, Koen (K.) van Boheemen¹, Frits (F.K.) van Evert¹, Marleen (M.M.) Riemens¹, Paul (L.C.P.) Keizer¹, Sabine (S.K.) Schnabel¹, Fenny (F.M.) van Egmond¹, Dennis (D.J.J.) Walvoort¹, Henk (H.) Janssen¹, Inge (I.J.) La Rivière¹, Corné (C.G.) Kocks⁸ en Alfred (A.) Pot⁸

1 Wageningen University & Research

2 ZLTO

3 TUD

4 NEO

5 Aerovision

6 Suiker Unie

7 Bayer Cropscience

8 Aeres Hogeschool

9 Phenovation

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, september 2019

Rapport WPR-921

Corné (C.) Kempenaar, Chris (C.J.) van Dijk, Geert (G.M.) Hermans, Susan (S.C.) Steele-Dun, Corné (C.) van der Sande, Jeroen (J.) Verschoore, Tamme (T.) van der Wal. Gerbert (G.J.) Roerink, Jurriaan (J.) Visser, Jan (J.A.L.) Kamp, Pieter (P.M.) Blok, Gerrit (G.) Polder, Jan (J.M.) van der Wolf, Henk (H.) Jalink, Annette (A.) Bulle, Bert (E.J.J.) Meurs, Jean-Marie (J.M.) Michielsen, Jan (J.C.) van de Zande, Idse (I.E.) Hoving, Johan (J.W.) van Riel, Gertjan (G.) Holshof, Koen (K.) van Boheemen, Frits (F.K.) van Evert, Marleen (M.M.) Riemens, Paul (L.C.P.) Keizer, Sabine (S.K.) Schnabel, Fenny (F.M.) van Egmond, Dennis (D.J.J.) Walvoort, Henk (H.) Janssen, Inge (I.J.) La Rivière, Corné (C.G.) Kocks en Alfred (A.) Pot, 2019. *Op naar precisielandbouw 2.0; Eindrapport PPS PL2.0 2015-2019 topsectorproject AF-14275*. Wageningen Research, Rapport WPR-921. 140 blz.; 95 fig.; 25 tab.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/501552>

Het publiek-private samenwerkingsproject 'Op naar Precisielandbouw 2.0' is een gecoördineerde R&D inspanning op het strategische thema Robuuste plantaardige productie en Smart Agri & Food (Resource efficiency en Markt en Keteninnovaties) binnen TKI A&F (TKI-AF-14275). Het onderzoek is uitgevoerd door de private projectpartners in samenwerking met TU Delft en Stichting Wageningen Research (WR).



Trefwoorden: precisielandbouw, smart farming, kringlooplandbouw, satellietbeelden, sensoren, gewasgroeimodellen

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

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

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-921

Foto omslag: Kverneland Mechatronics

Inhoud

	Samenvatting	9
1	Inleiding met leeswijzer	11
	1.1 Referenties	13
2	Gewasmonitoring vanuit satellieten	14
	2.1 Biomass monitoring using a combination of optical and radar images	14
	2.1.1 Samenvatting (NL)	14
	2.1.2 Introduction	14
	2.1.3 Project Goal	15
	2.1.4 Approach	15
	2.1.5 Results and discussion	18
	2.1.6 Valorisation	24
	2.1.7 Conclusions and recommendations	25
	2.1.8 Literature	26
	2.2 Biomass monitoring using a combination of optical images of satellites and drones (Bioscope)	27
	2.2.1 Samenvatting (NL)	27
	2.2.2 Introduction	27
	2.2.3 Goal of the project	27
	2.2.4 Description of the service	27
	2.2.5 Work done	29
	2.2.6 Conclusions	31
	2.3 Groenmonitor opbrengstbepaling suikerbieten	32
	2.3.1 Samenvatting	32
	2.3.2 Aanleiding	32
	2.3.3 Doel van het project	32
	2.3.4 Resultaten en discussie	34
	2.3.5 Valorisatie	37
	2.3.6 Conclusie en aanbevelingen	37
	2.3.7 Literatuurlijst	38
3	Nearby sensing en ziektedetectie	39
	3.1 Beeldanalyse voor detectie ziekten in aardappel	39
	3.1.1 Samenvatting	39
	3.1.2 Aanleiding	39
	3.1.3 Doel van het project	40
	3.1.4 Aanpak en resultaten	40
	3.1.5 Conclusies en aanbevelingen	43
	3.1.6 Literatuur	43
4	Ontwikkeling van precisielandbouw-applicaties in akkerbouw en graslandmanagement	45
	4.1 Toepassingen van GEO informatie in applicaties	45
	4.1.1 Samenvatting	45
	4.1.2 Aanleiding	45
	4.1.3 VRA toepassingen in de akkerbouw	46
	4.1.4 VRA toepassingen in bloembollen	48
	4.1.5 Conclusies	56
	4.1.6 Literatuurlijst	56

4.2	Precisiespuit voor op bedden geteelde bloembollen	57
4.2.1	Samenvatting	57
4.2.2	Aanleiding	57
4.2.3	Doel van het project	57
4.2.4	Resultaten en discussie	57
4.2.5	Eindontwerp en conclusies	65
4.2.6	Literatuurlijst	65
4.3	Sensor gestuurde gras- en maisteelt; opbrengstvoorspelling	66
4.3.1	Samenvatting	66
4.3.2	Aanleiding	66
4.3.3	Doel van het project	67
4.3.4	Aanpak	67
4.3.5	Resultaten en Discussie	69
4.3.6	Valorisatie	78
4.3.7	Conclusie en aanbevelingen	79
4.3.8	Literatuurlijst	79
4.4	Online bemestingsadvies	81
4.4.1	Samenvatting	81
4.4.2	Aanleiding	81
4.4.3	Doel van het project	81
4.4.4	Aanpak	81
4.4.5	Resultaten en discussie	82
4.4.6	Valorisatie	97
4.4.7	Conclusie en aanbevelingen	98
4.4.8	Literatuurlijst	98

5 Perceelkarakteristieken voor Opbrengspotentie 101

5.1	Perceelkarakteristieken voor het inschatten van opbrengspotentie van percelen en sturen van teeltmaatregelen (gras, maïs en akkerbouw)	101
5.1.1	Samenvatting	101
5.1.2	Aanleiding	101
5.1.3	Doel van het project	101
5.1.4	Aanpak	102
5.1.5	Resultaten en discussie	102
5.1.6	Valorisatie	104
5.1.7	Conclusie en aanbevelingen	107
5.1.8	Literatuurlijst	107
5.2	Perceelkarakteristieken voor het inschatten van opbrengspotentie van percelen en sturen van teeltmaatregelen (boomteelt)	108
5.2.1	Samenvatting	108
5.2.2	Aanleiding	108
5.2.3	Doel van het project	109
5.2.4	Aanpak	109
5.2.5	Resultaten en discussie	109
5.2.6	Valorisatie	116
5.2.7	Conclusie en aanbevelingen	117
5.2.8	Literatuurlijst	117

6 Strategische perceelinformatie 118

6.1	Ondersteunende ICT en Autonome navigatie	118
6.1.1	Samenvatting	118
6.1.2	Aanleiding	118
6.1.3	Doel van het project	120
6.1.4	Aanpak	120
6.1.5	Resultaten, valorisatie en discussie	122
6.1.6	Conclusie en aanbevelingen	124
6.1.7	Literatuurlijst	125

7	Communicatie en Kennisverspreiding	126
	7.1 Communicatie	126
	7.2 Kennisverspreiding (ZLTO)	131
8	Bijdrage PPS PL2.0 aan ontwikkeling precisielandbouw	137

Samenvatting

De publiek private samenwerking (PPS) 'Op naar precisielandbouw 2.0' (PL2.0) is een R&D project van de topsector AgriFood. Het project is gestart in 2015 met doorlooptijd van 4 jaar. Voor u ligt het eindrapport.

In deze PPS werkten ruim 20 private bedrijven en organisaties, publieke kennisinstellingen en overheden samen aan strategische onderwerpen binnen precisielandbouw. Het project omvatte 13 deelprojecten verdeeld over vijf specifieke R&D thema's, te weten slim satellietbeeldengebruik, sensorontwikkeling (ziektedetectie), slimme integratie van technologieën in toepassingen, perceelkarakteristieken voor schatten van opbrengstpotentie en ondersteunende ICT, en een generiek thema communicatie en kennisverspreiding.

Met betrekking tot het thema satellietbeeldengebruik is uitgezocht hoe optische satellietbeelden in combinatie met radarbeelden of beelden verkregen via drone-camera's beter gebruikt kunnen worden om de variatie en status van de bovengrondse hoeveelheid biomassa van gewassen in kaart te brengen en opbrengsten te voorspellen. Op het gebied van ziektedetectie is door middel van sensor fusion en artificial intelligence de detectie van virus- en bacterieziekten in aardappelplanten verbeterd. En werd een prototype sensorsysteem voor veldonderzoek ontwikkeld. Door slimme integratie van data, adviesmodellen en mechanisatie zijn er enkele variabel-doseertoepassingen ontwikkeld en gevalideerd. Het gaat hier om variabel doseren van Stikstof en herbiciden binnen teelten d.m.v. taakkaarten. In het verlengde hiervan is ook een ontwerp geleverd en als prototype gevalideerd voor een innovatieve beddenspuit in bloembollenteelt. Op grond van perceelkarakteristieken en ondersteunende ICT zijn inzichten en tools voor het inschatten van opbrengst(potentie) geleverd en wordt een doorkijk gegeven naar software voor verbeterde rijpadenplanning en perceelinformatie. De inzet op communicatie en kennisdeling heeft ca. 100 publicaties en presentaties in 4 jaar tijd opgeleverd. Voor meer details over resultaten wordt naar de rapportage met samenvatting per deelproject verwezen in de hoofdstukken 2 tot en met 7.

Het grote succes van PL2.0 ligt vooral bij ruime aandacht voor integratie van componenten van precisielandbouwtoepassingen en de doorstroming daarvan naar de praktijk en onderwijs. Geconcludeerd mag worden dat PL2.0 een bijdrage leverde aan gewasmonitoringtoepassingen en diverse variabel-doseertoepassingen (*variable rate applications*, VRA). Die VRA-toepassingen zien we nu op de agenda in het in 2018 gestarte precisielandbouw-adoptie project 'Nationale Proeftuin Precisielandbouw' (NPPL). Meerdere bedrijven passen taakkaarten variabel doseren op een resolutie van 30-50 m² op praktijkschaal toe en besparen zo'n 20 -30% op gewasbeschermingsmiddelen met behoud van goede werking. De basis hiervoor is een bodem- of gewaskaart die de relevante variatie binnen de bodem of gewas in kaart brengt. Ook zijn er via PL2.0 mooie resultaten met optimalisatie van plantdichtheid en vermindering van meststoffengebruik via deze kaarten. Doorstroming van kennis naar het groene onderwijs werd gerealiseerd via PL2.0 en een versterkend WURKS-traject. Negen lesmodules over gebruik software en inzet taakkaarten in precisielandbouw werden opgeleverd.

Precisielandbouw is geen doel op zich, maar een manier om de duurzaamheid van landbouw te vergroten. Met PL2.0 toepassingen kan meer met minder en beter geproduceerd worden. De trend van precisielandbouw c.q. data-gedreven landbouw of *smart farming*, zal zich alleen maar doorzetten. Er zal gewerkt gaan worden met meer en hoog-resolutie data, complexere adviesmodellen en meer robotisering. Daarmee zullen de doelen van kringlooplandbouw beter en sneller gerealiseerd kunnen worden.

1 Inleiding met leeswijzer

Het concept van precisielandbouw (PL) heeft zich ontwikkeld vanaf de tachtiger jaren in de vorige eeuw (ca 35 jaar geleden). Onderzoekers van de Universiteiten van Minnesota en Oklahoma in de VS introduceerden de termen Site Specific Crop Management en Variable Rate Application (VRA). Ze lieten als Proof of Principle zien dat variatie in bodemeigenschappen en gewasgroei met sensoren te meten is, dat deze variatie met een geografisch informatie systeem in een kaart te brengen is, en dat de kaart te gebruiken is om pleksgewijs te bemesten. WUR onderzoekers als Bouma (1996) en Goense (1998) PL in Nederland geïntroduceerd. Sindsdien heeft de technologie zich zeer snel ontwikkeld, en is precisielandbouw een bedrijfsmanagementconcept geworden waarin planten en dieren op een agrarisch bedrijf een optimale behandeling krijgen, in ruimte en tijd en binnen bedrijfseconomische en maatschappelijke randvoorwaarden (Kempenaar & Kocks, 2013).

De afgelopen jaren hebben nieuwe termen hun intrede gedaan voor precisielandbouw, zoals smart farming, digital farming, decision farming of data-gedreven landbouw. Voor agrarische bedrijven betekenen ze allemaal hetzelfde. *Doing the right thing at the right time, the right place and in the right amount*. Precisielandbouw is ook een basis onder kringlooplandbouw. Sturen op data en inzet van technologie en kennis liefst zo autonoom mogelijk en op de kleinste mogelijke schaal.

De adoptie van PL door de praktijk verloopt trager dan op voorhand werd ingeschat. De landbouwpraktijk heeft interesse in PL gekregen na 2000. Vanaf dat moment komen een aantal basistechnologieën en standaarden haalbaar en betaalbaar beschikbaar voor de praktijk. Denk hierbij aan plaatsbepalingstechnologie (GNSS, ook wel GPS genoemd), stuursystemen op machines, diverse sensoren voor bodem, klimaat en gewaswaarnemingen, en standaarden als ISOBUS. Recent publiceerde Lowenberg de Boer (2019) over adoptie van precisielandbouw. In zowel Nederland als landen om ons heen zie je dat plaatsbepalingstechnologie en sensorsystemen toegepast worden, maar dat VRA nog maar mondjesmaat wordt ingezet. En juist daarmee kan bedrijfseconomische en maatschappelijke winst geboekt worden.

Het achterblijven van de adoptie van precisielandbouwtoepassingen heeft diverse oorzaken die rond 2014 ook al helder waren. Het TKI-AF 14275 project 'Op naar Precisielandbouw 2.0' (PL2.0), met looptijd 2015-2019, beoogt een aantal van de knelpunten op te lossen. Het doel van PL2.0 is een gecoördineerde publiek-private R&D inspanning op strategische thema's binnen precisielandbouw, om zo brede implementatie te versnellen en de voordelen ervan voor telers, ketens en maatschappij te oogsten. Eindgebruikers, toeleverende bedrijven, ketenpartijen en kennisinstellingen werken samen in dit programma.

De naam 'Op naar precisielandbouw 2.0' is gekozen omdat precisielandbouw een volgende stap moet maken die niet lukt zonder een flinke R&D inspanning. De stap naar gebruik van GNSS (plaatsbepalingstechnologie en rechtrijden-systemen) in de landbouw is reeds gemaakt (PL1.0) op veel Nederlandse bedrijven (rond 2015 heeft meer dan de helft van de akkerbouwbedrijven in NL GPS-systemen). GEO- en sensorinformatie wordt rond 2015 echter nog nauwelijks gericht ingezet om teeltmaatregelen zo optimaal mogelijk in ruimte en tijd in te zetten (de zogenaamde VRA-toepassingen). Het gaat bij VRA/PL2.0 om integratie van de componenten sensoren, data, modellen, ICT en mechanisatie (implements) in effectieve en duurzame precisielandbouwtoepassingen. Redenen waarom de stap naar PL2.0 langzamer dan gedacht gemaakt wordt, zijn (1) beperkte bruikbaarheid van het huidige aanbod van sensorbeelden, (2) onvoldoende aanbod van modellen en beslisregels die sensorbeelden en data vertalen naar toegevoegde waarde in teeltmaatregelen voor de eindgebruikers (telers en loonwerkers), (3) gebrekkige ICT-infrastructuur, data-uitwisselbaarheid en standaardisatie, (4) en onvoldoende bekendheid met de voordelen van precisielandbouw. Deze redenen zijn bevestigd in een onderzoek van EIP-AGRI focus groep 'Mainstreaming precision farming' en het rapport Doorontwikkeling van precisielandbouw in Nederland (Van der Wal *et al.*, 2017).

De kennis- en innovatievragen in PL2.0 liggen op het vlak van (a) slimmer gebruik van satellietbeelden en (b) verbetering van nearby sensoren (o.a. detectie variatie in bodems en ziekten in gewassen), (c) ontwikkeling en toepasbaar maken van modellen, beslisregels en software voor integratie in precisielandbouwtoepassingen met toegevoegde waarde, (d) opbrengstvoorspelling op basis van perceelkarakteristieken en modellen. Deze vragen zijn mede geprioriteerd op basis van de evaluatie van Programma Precisielandbouw (PPL) en afgestemd met de stuurgroep daarvan. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de partners in PL2.0 en hun expertises.

In het project PL2.0 zijn 13 deelprojecten verdeeld over zes thema's opgenomen:

1. Satellietbeeldengebruik (hoofdstuk 2)
 - 1a. Biomassamonitoring door slimme combinatie van optische beelden en radarbeelden
 - 1b. Biomassamonitoring door slimme combinatie van beelden van drones en satellieten
 - 1c. Perspectief Groenmonitor opbrengstschattingen
2. Bodem- en gewassensoren (hoofdstuk 3)
 - 2b. Beeldanalyse voor detectie ziekten in aardappelgewassen
3. Integratie en toepassingen (hoofdstuk 4)
 - 3a. Toepassingen van geo-informatie in applicaties
 - 3b. Gewasbeschermingsinformatie op de spuit
 - 3c. Sensor gestuurde gras- en maïsteelt
 - 3d. Online bemestingsadvies en basisadvieskaarten
4. Perceelkarakteristieken opbrengspotentie (hoofdstuk 5)
 - 4a1. Conceptontwikkeling en validatie in gras, maïs en kleine gewassen.
 - 4a2. Conceptontwikkeling en validatie in boomteelt
5. Ondersteunende ICT (hoofdstuk 6)
 - 5a. Strategische perceelplanning
6. Communicatie en Kennisverspreiding (hoofdstuk 7)
 - 6a. Kennisverspreiding tussen partners en onderwijs en naar de praktijk

Voor dit eindrapport is gekozen voor rapportage per deelproject. De resultaten van de verschillende deelprojecten worden beschreven in de hoofdstukken 2 tot en met 7. Ieder hoofdstuk heeft meerdere paragrafen in lijn met het aantal deelprojecten per thema. Ieder deelproject heeft een samenvatting. De rapportage is voornamelijk in het Nederlands. Alleen de rapportage over deelprojecten 1a en 1b is in het Engels. Deze hoofdstukken hebben wel een Nederlandstalige samenvatting. In hoofdstuk 7 wordt een overzicht gegeven van de communicatie en kennisdelingsactiviteiten die in het kader van het PL2.0 onderzoek zijn uitgevoerd. Vervolgens wordt in een afsluitend hoofdstuk 8 de valorisatie van de resultaten van PL2.0 beschreven en besproken, en worden de te beantwoorden kennisvragen samengevat.

Tabel 1.1 Partners van PL2.0 met expertises en taken.

Partners	Rol/activiteit/expertise
Bedrijven	
Neo b.v.	Expertise op gebied van satellietbeelden en landgebruikmonitoring, processing en levering van beelden en opleveren van dienst
Aerovision b.v.	Expertise op gebied van GEO-informatie en aardaobservatie, coordinator Bioscope concept
Agrometius b.v	Expertise op gebied GEO-informatie, GNSS en sensoren, levering van bodemkaarten en diensten
Avular b.v.	Expertise op gebied van drones, ontwikkelen business plan
Bayer CropScience b.v.	Expertise op gebied van gewasbescherming, ontwikkelen business plan, en bijhorende activiteiten, veldonderzoek
Suiker Unie	Expertise op gebied opbrengstmonitoring, levering data en verbetering dienst
Dacom	Expertise op gebied van teeltregistratie en ICT voor teeltmanagement, bijdrage aan Bioscope dienst en bodemkaart
Kverneland Group Nieuw-Vennep b.v.	Expertise op gebied van sensortechnologie, standaardisatie ICT en toedieningstechniek, ontwikkeling nieuwe producten en diensten
NAK	Expertise kwaliteit pootgoed
Agrico	Expertise kwaliteit pootgoed
HZPC	Expertise kwaliteit pootgoed
Phenovation	Chlorofyl fluorescentie metingen
TerraSphere	Expertise op gebied remote sensing en gis
ZLTO + NCB Ontwikkeling	Belangenorganisatie telers, stimuleren innovaties, penvoering programma
AgriFarm Plant	Landbouwcoöperatie, expertise precisielandbouw, ontwikkeling Apps.
Gebruikersgroepen telers en loonwerk	Testen van nieuwe concepten, producten en diensten.
Kennisinstellingen	
DLO PRI/PPO	Uitvoering R&D, inhoudelijke coordinatie programma
DLO Livestock Research	Uitvoering R&D
DLO Alterra	Uitvoering R&D
CAH Vilentum / HAS Den Bosch/Van Ha	Ontwikkelen lesmateriaal, uitvoering R&D
TUD	Uitvoering R&D
WU	Uitvoering R&D
Overheden	
NSO	Expertise GNSS en Aardobservatie

Gebruikersgroepen werden vertegenwoordigd door BO-Akkerbouw, HWODKA, een boomteeltgroep uit Zuid Nederland via Fleuren en een akkerbouwbedrijf in Abbenes en een bloembollenbedrijf in Andijk.

1.1 Referenties

- Bouma, J., 1996. Bodemkundige informatie voor precisie landbouw. *Agro informatica* 9-1: 18-20.
- Goense, D., 1998. Op weg naar precisielandbouw. Een high-tech instrument voor ecologisering? *Spil* 155-156: 35-40.
- Kempenaar, C. Kocks, C.G., 2013. Van precisielandbouw naar smart farming technology. Inaugurele reden lectoraat 'Precisielandbouw' van Christelijke Agrarische Hogeschool, Dronten, 2012-2016.
- Lowenberg de Boer, J., 2019. The adoption and state of play of Precision Agriculture in Europe. Key note at InfoAg conference in Dublin, Ireland, March 25, 2019.
- Wal, T. van der, Vullings, L.A.E., Zaneveld-Reijnders, J., Bink, R.J., 2017. Doorontwikkeling van de precisielandbouw in Nederland : een 360 graden-verkenning van de stand van zaken rond informatie-intensieve landbouw en in het bijzonder de plantaardige, openluchtteelt. Wageningen Environmental Research rapport 2820 (89 pp.) Wageningen Environmental Research.

Website links:

<https://www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/dossier-precisielandbouw.htm>

<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/focus-groups/mainstreaming-precision-farming>

2 Gewasmonitoring vanuit satellieten

2.1 Biomass monitoring using a combination of optical and radar images

Auteurs: Susan (S.C.) Steele Dun, Corné van der Sande *et al.*

Uitvoerende partijen: NEO, Aerovison, Aeres, Wageningen UR en TUDelft

2.1.1 Samenvatting (NL)

Dit deelproject is gestart om te onderzoeken of gewasmonitoring vanuit satellieten verbeterd kan worden door toepassing van radarbeelden, al dan niet in combinatie met optische beelden.

Radarbeelden kunnen gebruikt worden voor de monitoring van verschillende gewassen als mais, gras, aardappel, suikerbiet en winter tarwe. De gegarandeerde beschikbaarheid van deze beelden en het feit dat er geen belemmeringen zijn voor radarbeeldenopnamen door wolken, zorgt ervoor dat deze data beter bruikbaar is voor eindgebruikers. Dauw en interceptie kunnen problemen opleveren in het backscatter signaal van radarbeelden, maar deze zijn door weersgegevens er uit te filteren.

Belangrijke momenten als opkomst en gewassluiting zijn zichtbaar met intensiteit ratio VV/VH. Oogst is ook te detecteren maar dan in combinatie met Coherentie VV en een de NDVI vegetatie index. NEO maakt sinds 2016 standaard gebruik van Sentinel1 radar beelden voor gewasclassificatie en gewasmonitoring. In 2018 is met een dagelijkse update de oogst van suikerbieten en cichorei gevolgd voor Cosun. Een volgende stap is deze data te gebruiken voor de verbetering van gewasgroeimodellen. Zie ook deelproject 1c. De verslag gaat verder in het Engels. De resultaten worden gepresenteerd en besproken.

2.1.2 Introduction

This subproject was initiated by NEO, a company that provides services based on satellite information. In this project NEO wants to find out how high-quality crop biomass and yield maps can be supplied by linking images from optical satellite sensors with radar images from (other) satellites. Optical satellite data has proven to be suitable for biomass estimation of agricultural crops. However, in the Netherlands cloud cover is a major problem in obtaining sufficient images during the growing season. In principle, ESA's Sentinel-2 system with 10 m spatial resolution would be suitable, but the temporal resolution will probably not be sufficient for precision farming.

The expectation is that radar data can fill that gap in coverage with optical images. The C-band SAR on Sentinel-1 seems to be the most applicable instrument for this. The combined use of optical and radar data offers the most perspective for setting up a biomass monitoring system. NEO has expertise in processing satellite images and wants to use this knowledge to develop services for the agricultural sector. She asked DLO to advise her on relevant services and to support her with the analysis of results and to perform the necessary soil measurements (including biomass, growth and LAI). NEO particularly wanted to make use of TUD's experience with the Canadian Radarsat (C-band). TUD also has experience with data assimilation in which different data sources are combined in a statistically meaningful way. However, an operational, cost-effective service can only be set up based on Sentinel-1 and Sentinel-2 images, since ESA makes it available for free.

2.1.3 Project Goal

The goal of this project was to research in which way optical and radar data can be used for crop monitoring and the detection of agricultural events activities. In particular, we focus in on radar data and we addressed the following questions:

- Can crop development be monitored with Sentinel-1 data?
- Can plant emergence be detected with Sentinel-1 data?
- Can we identify the closure date of sugar beets using Sentinel-1 data? This is a key input for a yield prediction model?
- Can harvest be detected using Sentinel-1 data? This is important for planning the logistics of transporting and processing harvested crops. Harvest is indicated by a sudden decrease in NDVI, but cloud cover can be problematic for real-time harvest detection?

2.1.4 Approach

2.1.4.1 SMAPVEX12 & Flevoland 2015

A preliminary study to assess the potential value of Sentinel-1 backscatter for crop monitoring was conducted as part of the MSc. thesis of Marja Haagsma (Haagsma (2015)). Two study domains were considered. First, Radarsat radar imagery and RapidEye optical data were used to compare SAR observables to NDVI in canola, corn, soybeans and wheat during the SMAPVEX12 experiment in Manitoba. This study location and period was chosen due to the availability of soil moisture, LAI, vegetation water content and ancillary data. Image processing was conducted by NEO bv. A second, small-scale analysis was performed comparing ground data collected by CAH Vilentum with Sentinel-1A, Spot 6/7 and Landsat 8 data processed by NEO.

2.1.4.2 Flevoland 2017 Monitoring

Study Area

The study was conducted in Flevoland. Figure 2.1-1 shows the extent of the study area as well as the spatial distribution of the five crops considered. In total, Sentinel-1 data were analyzed for 1286 grass parcels, 1048 wheat parcels, 763 sugar beet parcels 886 potato parcels and 335 maize parcels. Weekly crop growth stage, crop height and soil moisture data were collected in 24 agricultural parcels illustrated in Figure 2.1-2 The crop types were field maize (5 parcels), 5 sugar beet (5 parcels), potato (4 parcels), wheat (5 parcels) and English ryegrass (5 parcels). The dates upon which ground data were collected are provided in Table 2.1-1.

Table 2.1-1 Dates on which ground data were collecting during the Flevoland 2017 experimental campaign.

May	June	July	August	September
17 & 18	1	03	02	1
23	8	10	11	7
30	14 & 15	13	16&17	15
	21 &23	17	23	
	27	27		
	30			

Sentinel-1 Data

Combining data from Sentinel-1A and 1B, the Flevopolder is covered by 4-5 tracks (See Table 2.1-2).

Table 2.1-2 List of the orbits covering Flevoland, indicating whether they are ascending (ASC) or descending (DESC) overpasses, the (local) overpass time and the range of incidence angles. Track 110 was not included in this study because it only covers part of the domain.

Relative orbit	Pass	Local Time	Min. Inc. Angle [°]	Max. Inc. Angle [°]
37	DESC	06:49	38.9	41.9
161	ASC	18:32	44.7	46.1
88	ASC	18:24	36.6	40.4
15	ASC	18:15	30.0	31.5
110	DESC	06:58	30.0	33.7

Based on the four orbits, there are 20-25 acquisitions per month. The Sentinel-1 Interferometric Wide data were analyzed in this study. The normalized cross section time series in VV and VH were extracted from the GRD detection products. The processing chain includes the following steps: radiometric calibration, removal of thermal noise offset and orthorectification with radiometric correction for residual slope effects. Spatial multilooking is performed per parcel polygon. Hence, the radiometric resolution, or precision, for a single field depends on the field area. Typically, about 100 independent looks are available per hectare, resulting in a resolution of 0.5dB for a field of 1ha. Parcel polygons and crop types were determined from the Basisregistratie Gewaspercelen (BRP) [cite{brp2017}].

Following the results of Haagsma (2015), a method was sought to automatically detect the emergence and closure dates of sugar beets. The emergence date was detected by fitting a cubic polynomial to the data around the start of the growing season and identifying the inflection points. Similarly, the closure date was identified by fitting a cubic polynomial to the data from the late vegetative stages and finding the inflection point. Harvest was detected by identifying a change point in the time series of coherence for individual pixels.

Ground Data

Each of the 24 ground data parcels were visited approximately once per week, coinciding with S-1 orbit 88 overpasses when possible. Soil surface roughness parameters (root mean square(rms) height and the correlation length (L)) were determined using digital photos of a grid board during the bare soil period for the maize, sugar beet, potato and wheat fields. Surface soil moisture at each of the 24 fields was measured using ML3 ThetaProbe Soil Moisture Sensors [9]. Crop growth stage was determined by visual inspection, based on the BBCH scale[10, 11]. Crop height was measured, and photos were taken to record the development stage and closure. Meteorological data were collected every 15 minutes at a weather station installed at the Aeres Practijkcentrum Dronten (52.53N, 5.67E). Precipitation was measured using a Decagon ECH2O Rain Model ECRN-100 tipping bucket. Total solar radiation was measured using an Apogee SP-212 pyranometer. A Davis Cup anemometer was used to measure wind speed (m/s), wind direction [] and gust speed (m/s) at a 15-minute interval. A HOBO Temperature/RH Smart Sensor (S-THB-M008) was installed to measure air temperature and relative humidity. Decagon Dielectric Leaf Wetness Sensor were used to monitor plant surface water (dew/interception).

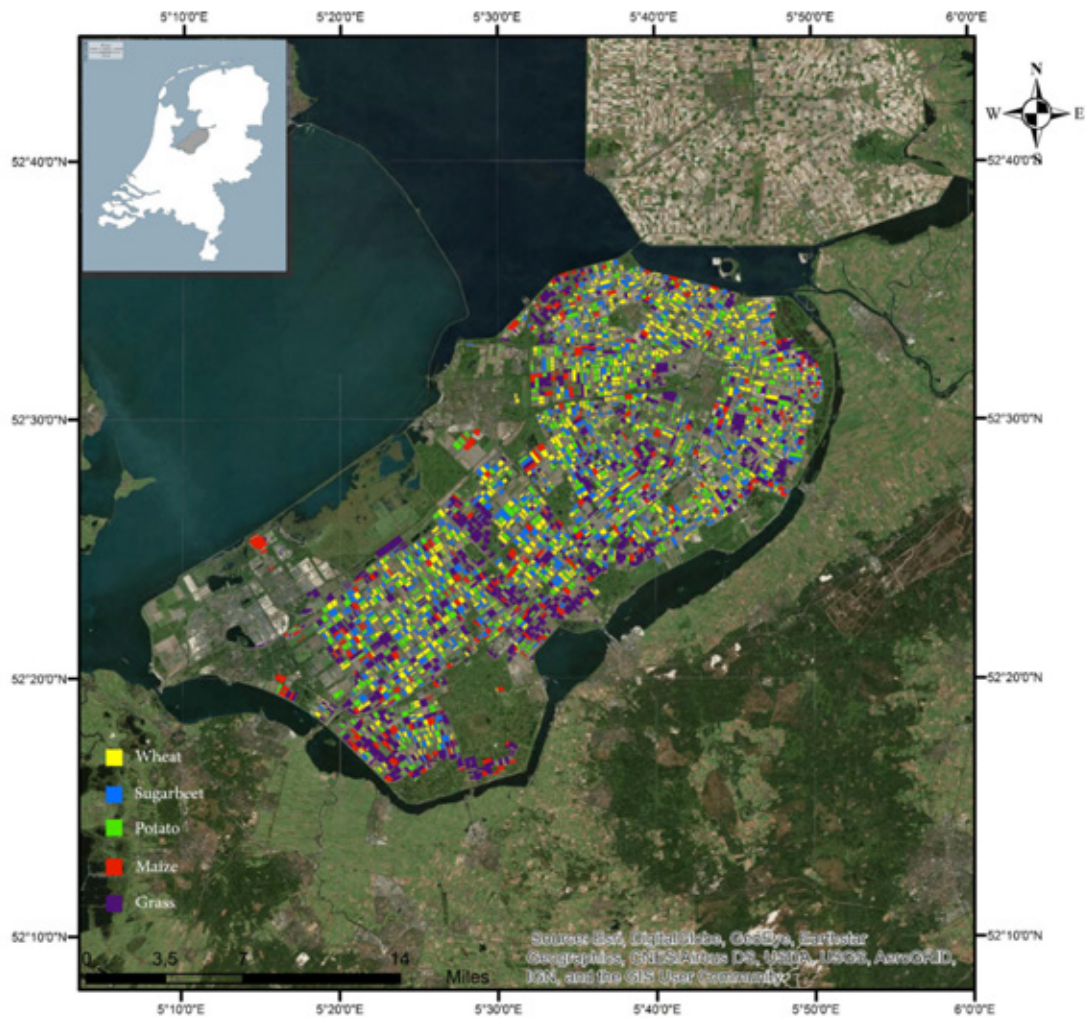


Figure 2.1-1 Map of the study domain considered in the Flevoland 2017 experimental campaign. Sentinel-1 data in parcels of wheat, sugar beet, potato, maize and grass shown here were analyzed.

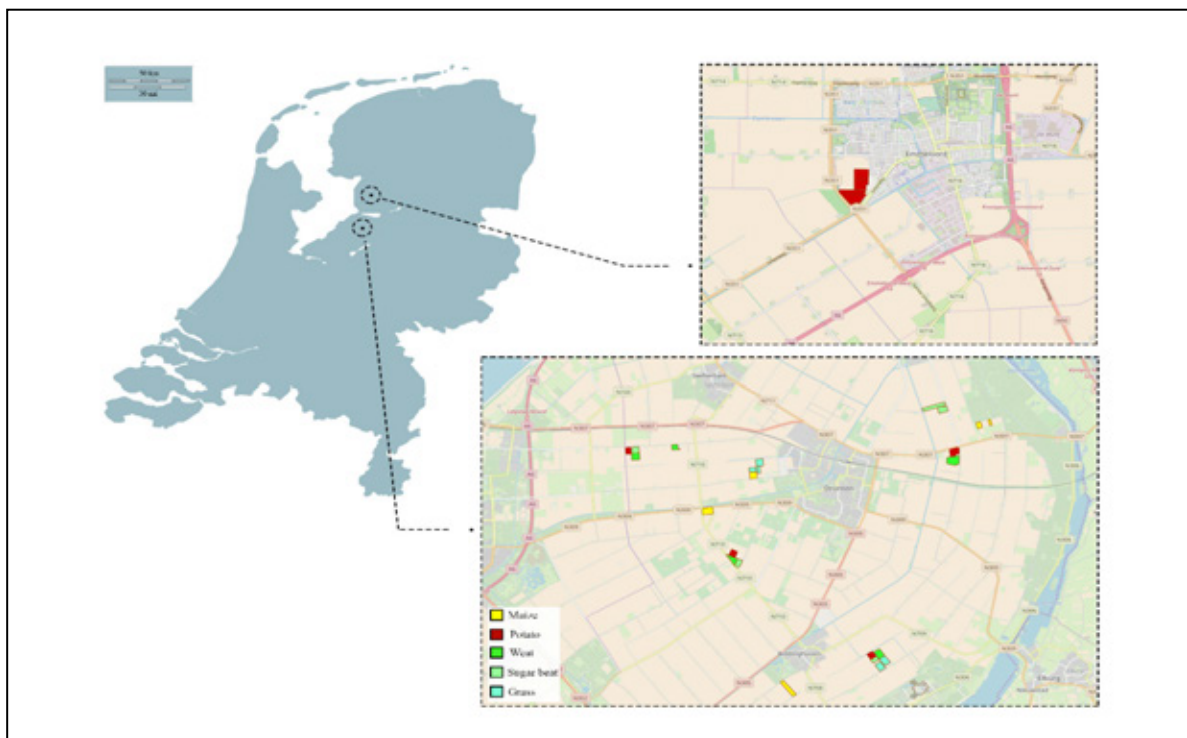


Figure 2.1-2 Map indicating the 24 parcels in which weekly ground data were collected.

2.1.5 Results and discussion

2.1.5.1 SMAPVEX12 and Flevoland 2015

The detailed analysis of Haagsma (2015) provided some key proof of concept results that shaped the subsequent field experiment and the reader is advised to consult her thesis for a more comprehensive discussion of the results. Though the results from SMAPVEX12 were based on important crops in Canada, the conclusions are transferable to the Dutch case. As an illustration, Figure 2.1-3 shows the co-polarized (HH and VV) and cross-polarized (HV) Radarsat backscatter as well as the Entropy, Radar Vegetation Index, polarization ratio, and terms of the Freeman-Durden decomposition for corn during SMAPVEX16 in Manitoba. The growth of the canopy, particularly leaf development has a significant impact on volumetric scattering (also clear in FD-vol), and is clearest in the cross-polarized backscatter. The observables sensitive to random scatterers and volumetric scattering are best-suited to crop development. The usefulness of HV and HV/HH provided a promising indication of the potential value of the dual-pol radar data from Sentinel-1. Similar results were presented for canola and soybeans. Results for wheat were markedly different due to the influence of the predominantly vertical geometry of wheat on the various contributions to total backscatter. Results from Haagsma (2015) are broadly consistent with those obtained during field-based, airborne and early spaceborne SAR experiments (Steele-Dunne *et al.* (2017)).

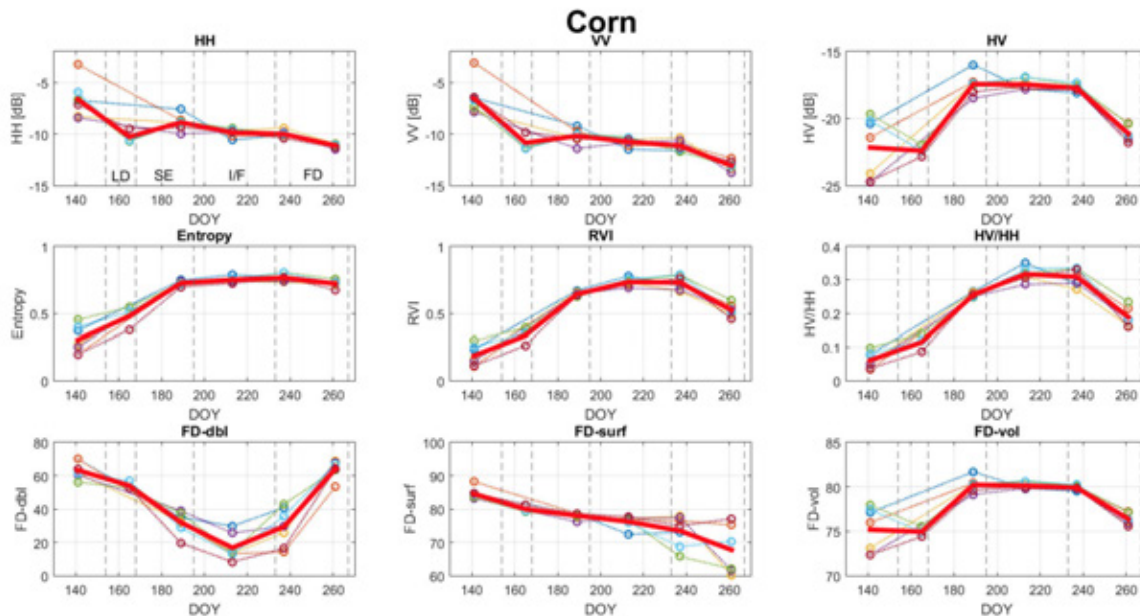


Figure 2.1-3 Time series of Radarsat observables over corn from May 20 to September 17, 2012 during the SMAPVEX12 experiment in Manitoba. The average is displayed in red, the dotted lines are the individual fields. The growth stage is indicated on the x-axis where LD corresponds to Leaf Development, SE to Stem Elongation, I/F to Inflorescence emergence and heading; Flowering and anthesis and FD to Fruit Development.

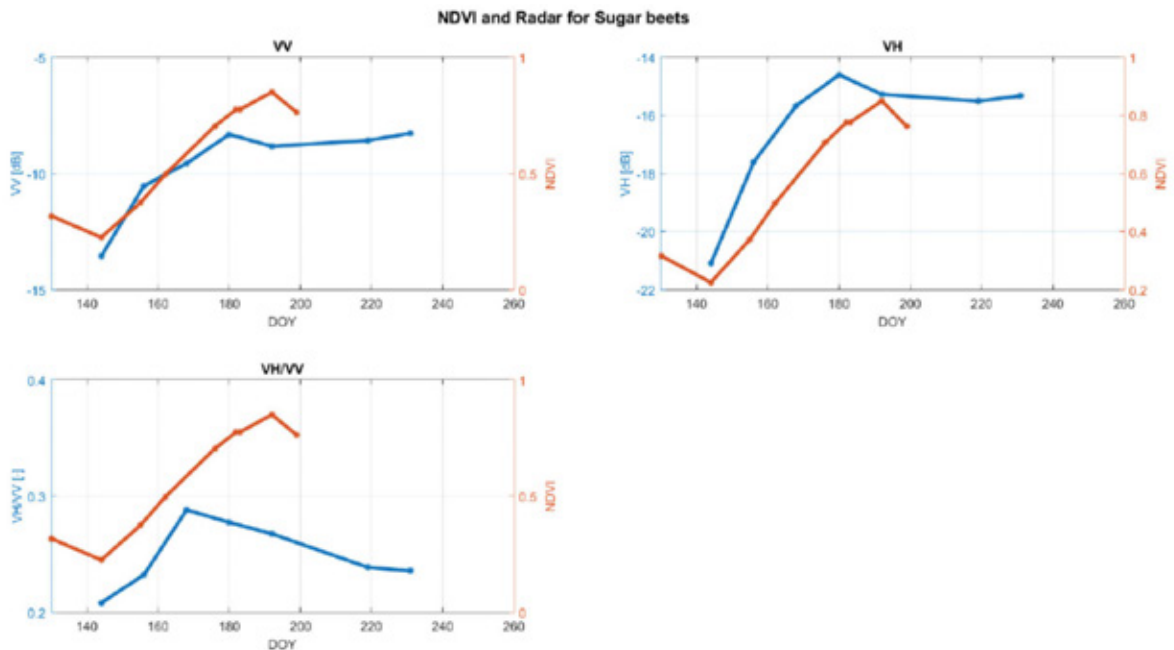


Figure 2.1-4 A comparison of Sentinel-1 radar observables and NDVI for sugar beets during Flevoland 2015.

Haagsma (2015) also demonstrated that Sentinel-1 backscatter could provide a reasonable proxy for NDVI during the leaf development stage of sugar beets. Figure 2.1-4 shows the NDVI and Sentinel-1 SAR observables for the 2015 growing season of sugar beets in Flevoland. Both VH and VV backscatter increase during the leaf development stage due to the increase in leaf area (NDVI) and the increase in volumetric scattering from leaves (backscatter). Later, when the plant is fully developed, the sensitivity radar backscatter to structure and vegetation water content results in variations in backscatter while the NDVI remains unchanged. Finally, Haagsma (2015) showed that the Sentinel-1 VH backscatter stabilizes around the closure date, providing a potential route to estimating the closure date for sugar beets. She also showed, however, that the presence of water (dew/interception) could perturb the backscatter, confounding efforts to detect the closure date. The results and recommendations of Haagsma (2015) motivated the Flevoland 2017 experiment discussed in the following section.

2.1.5.2 Flevoland 2017

Sentinel-1 Time Series Analysis

Figures 2.1-5 to 2.1-9 show the Sentinel-1 data from January to November 2017 sugar beet, wheat, maize, potato and wheat. From January to March, when the soil is bare, the VV and VH backscatter is similar across all crop types except grass.

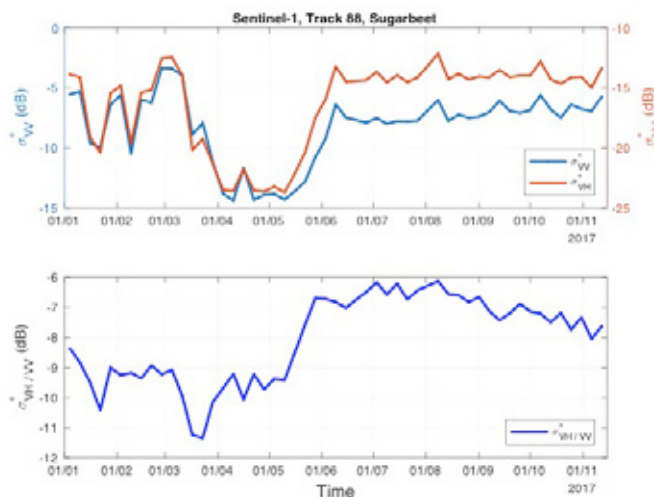


Figure 2.1-5 Sentinel-1 backscatter averaged across 763 sugar beet parcels in Flevoland from January to November 2017.

Rapid leaf development in the sugar beet parcels produces a sharp increase in VV backscatter between the emergence of the first leaves around 4 May, and the closure date around 17 June. The VH/VV ratio decreases during senescence from August onwards. The harvest is difficult to distinguish from the influence of precipitation events in this spatially-averaged dataset.

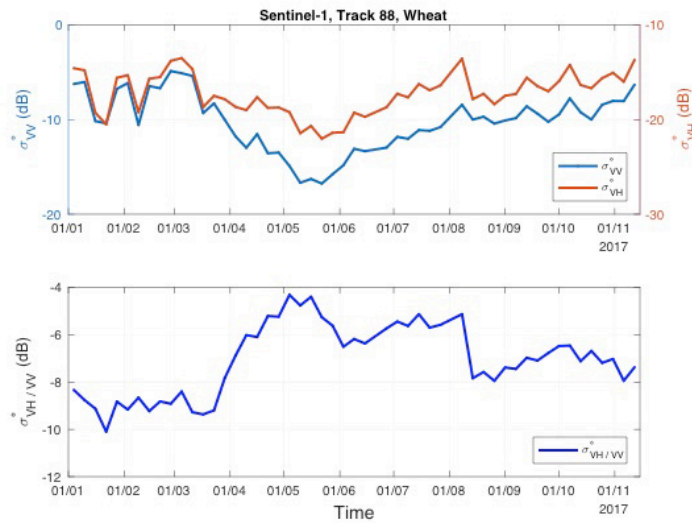


Figure 2.1-6 Sentinel-1 backscatter averaged across 1048 wheat parcels in Flevoland from January to November 2017.

In wheat (Figure 4.4) the time series of VV, VH and VV/VH ratio are quite different to those observed by Veloso *et al.* 2018, which may be due to differences in soil moisture during the tillering and elongation stages. The backscatter does not decrease due to senescence in July, which might be related to the persistent precipitation during this month. A sharp decrease in backscatter was observed when the wheat was harvested around 10 July.

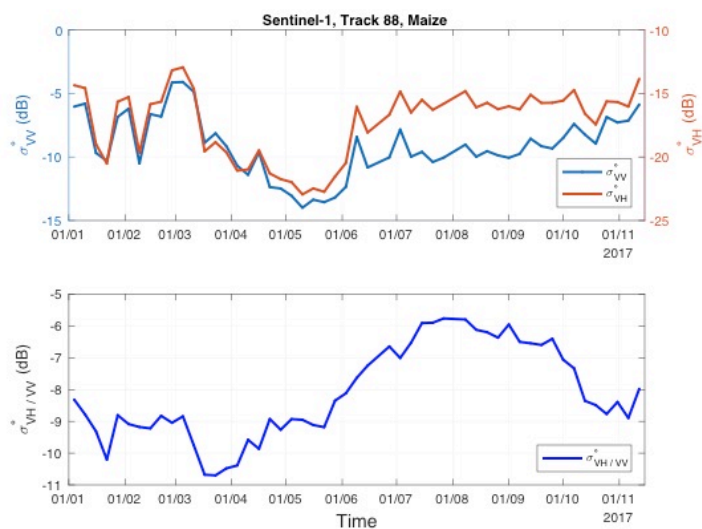


Figure 2.1-7 Sentinel-1 backscatter averaged across 335 maize parcels in Flevoland from January to November 2017.

VH backscatter, and the VH/VV ratio are good indicators of maize biomass accumulation. VH increases from -22.5dB to -15dB from between the emergence of the first leaves around 14 May and 1 August, when the maize reached its maximum height. The VH/VV ratio seems to correspond to water content,

as it decreases during senescence in August and September. Harvest, in the early October, resulted in a drop in backscatter followed by an increase in sensitivity to soil moisture.

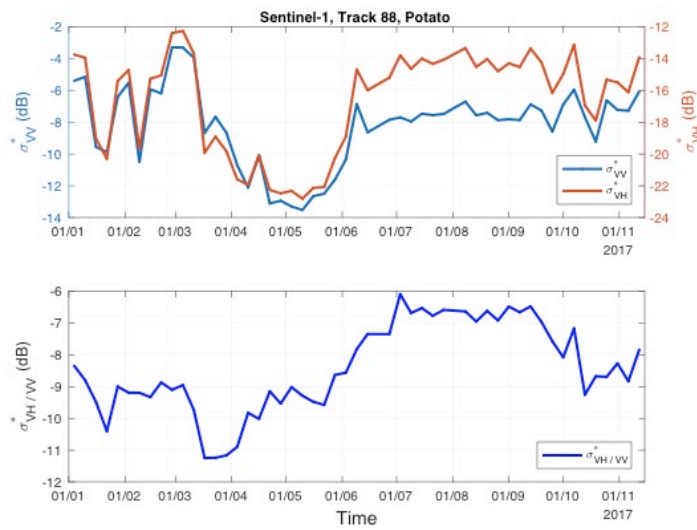


Figure 2.1-8 Sentinel-1 backscatter averaged across 886 potato parcels in Flevoland from January to November 2017.

In the potato parcels, there is a rapid increase in VV and VH after the emergence of the first leaves around 9 May. The backscatter and VH/VV ratio stabilize when the plants are fully grown (4th July). Potato hauling results in a decrease in backscatter and a sharp dip in VH/VV ratio in mid-September. The disturbance due to harvest is clear in mid-October, though the precise dates of hauling and harvest are difficult to pinpoint.

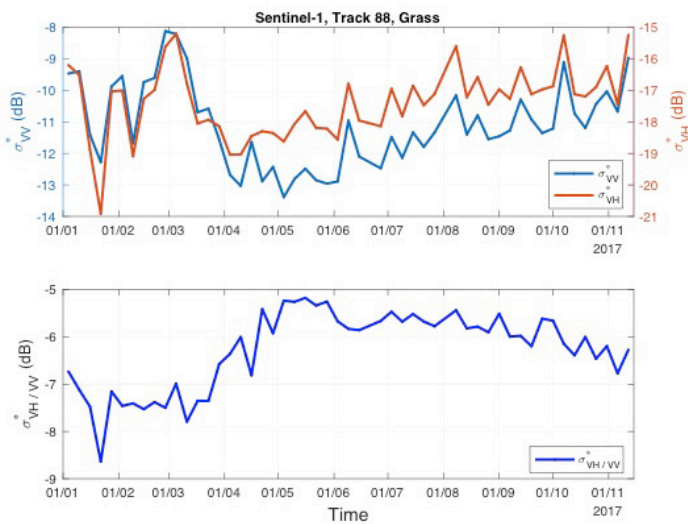


Figure 2.1-9 Sentinel-1 backscatter averaged across 1286 English rye grass parcels in Flevoland from January to November 2017.

Some grass cover persists throughout the year, and mowing patterns vary considerably. Hence, beyond the slow increase in backscatter from April onwards, the main variations are due to precipitation events.

Key dates

In Figure 2.1-10 (a) the estimated emergence date for sugar beets is mapped across the Flevopolder. In 93% of parcels, emergence occurs between 25 April and 10 May, which is plausible. Figure 2.1-10 (b) to (e) shows the first available photograph from each of the parcels after the estimated emergence date. It is clear from the limited growth that the emergence dates are plausible in each field. In Figure 2.1-10 (b), the photo was taken just four days after estimated emergence and it is clear that the plant has just emerged.

In Figure 2.1-11, the estimated closure date is mapped for all sugar beet parcels on the Flevopolder. From this map, 93% of parcels had a closure date between 15 June and 20 June. The photos below (Figure 2.1-11 (b) to (k)) show that these estimates are plausible. Closure is a somewhat subjective measurement in the field, but it is at least clear from Figure 2.1-11 (g) to (k) that closure had occurred prior to the later photos.

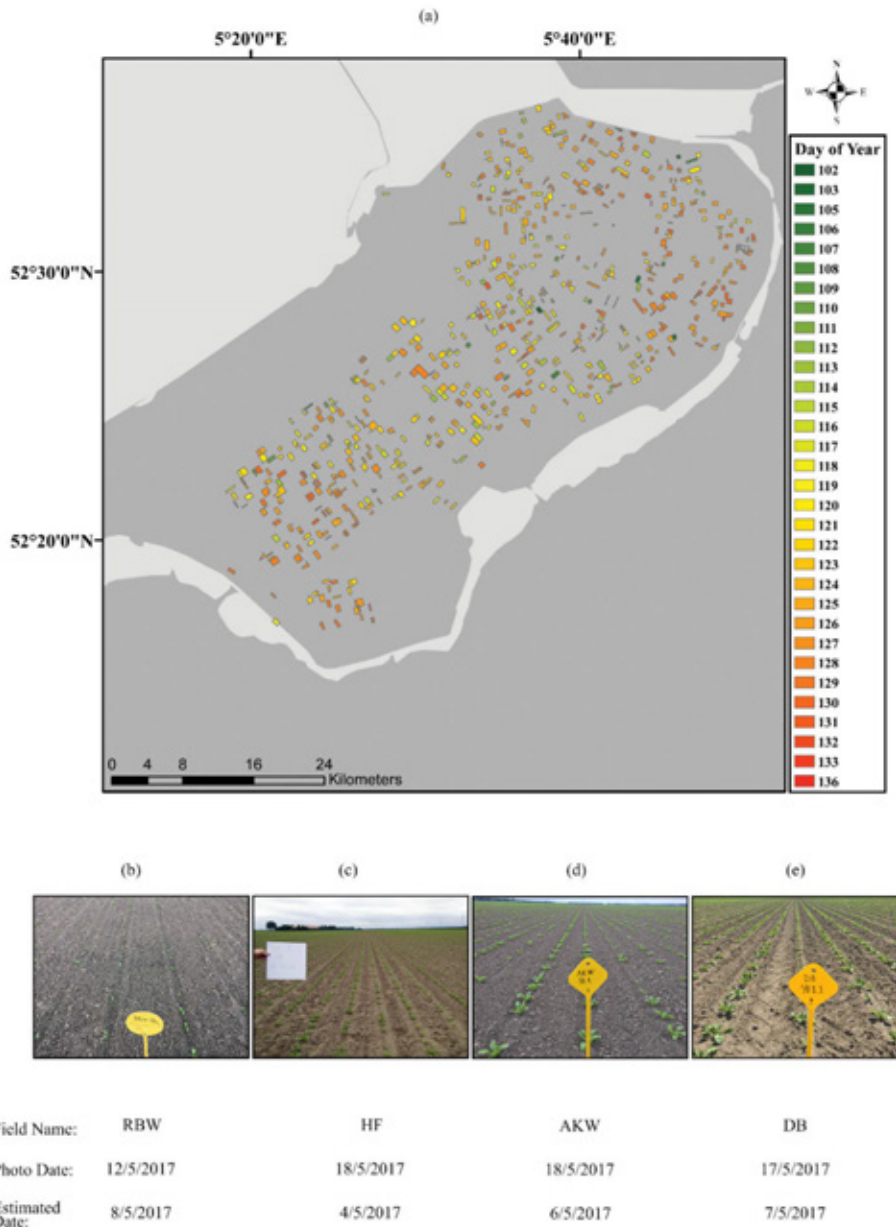


Figure 2.1-10 This map (a) shows the estimated emergence date for sugar beet in Flevoland during the 2017 growing season. Below, photos (b) to (e) show the first available photo for each of the sugar beets after the estimated emergence date.

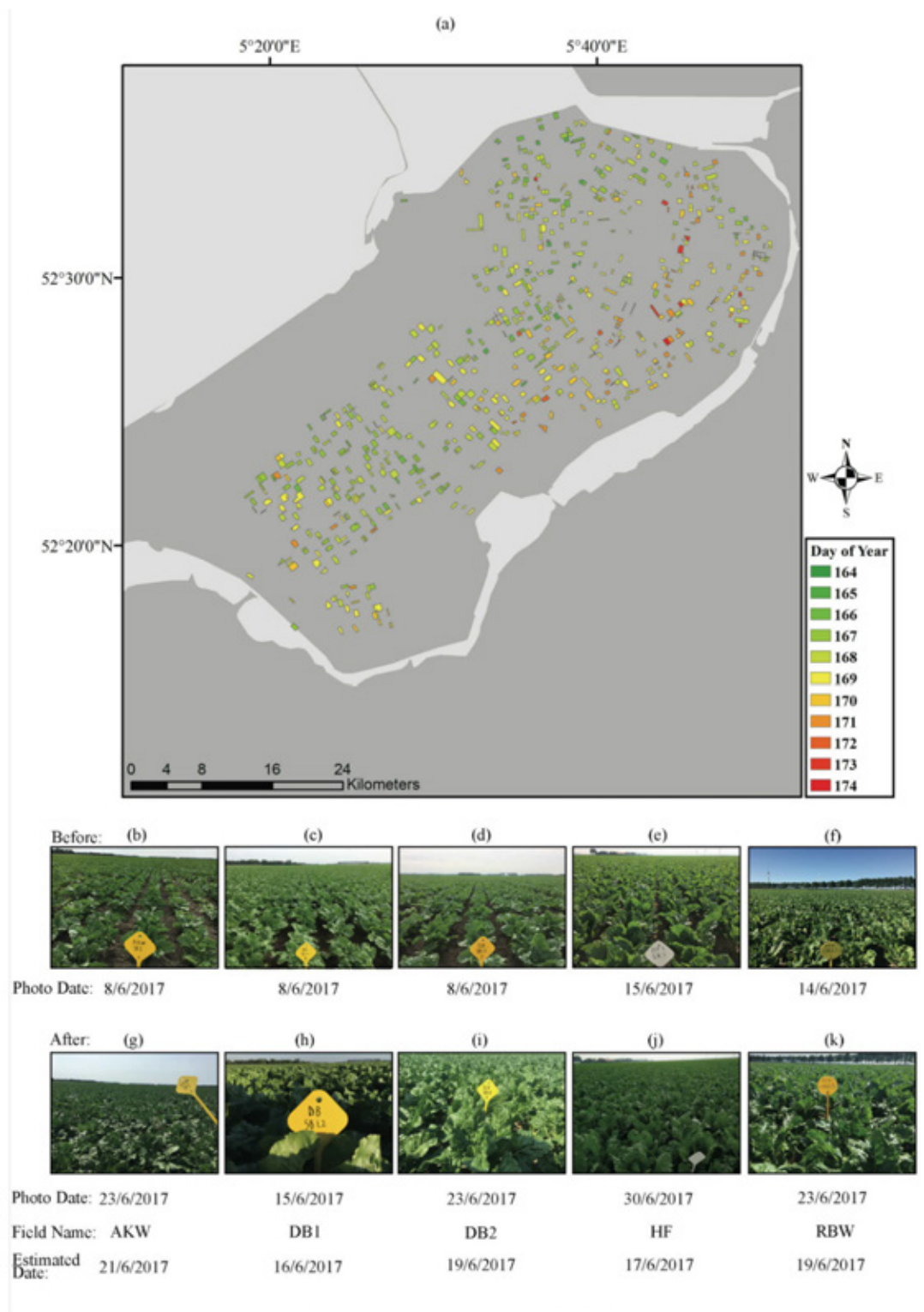


Figure 2.1-11 The map (a) shows the estimated closure date for sugar beet in Flevoland during the 2017 growing season. Below the two rows show the photos from before (b to f) and after (g to k) the estimated closure date.

Figure 2.1-12 provides some insight into the potential value of Sentinel-1 data for harvest detection. From Figure 2.1-12 (a), harvest results in a decrease in NDVI, and therefore occurs between 14/09 and 3/10. One reason for the gradual decrease could be that the parcel was not all harvested at once. Coherence (shown in blue in Figure 2.1-12 (a)) is very low during the maximum biomass period as phase changes result from the movement of vegetation between and during acquisitions. In November, the coherence is generally high, as phase changes are small between acquisitions over bare soil. The sharp decrease in coherence on 6/11 is due to precipitation. The subsequent change in soil moisture affects both backscatter and phase and therefore reduces coherence. Harvest results in a

transition from low coherence (vegetated) to high coherence (more stable bare/litter covered surface). Because the coherence is determined between a pair of images, the increase in coherence is observed after 01/10.

Figure 2.1-12 (b) shows a box plot of the coherence in all of the sugar beet pixels in Flevoland. From 08/08 to 13/09, coherence is generally always low. No harvesting has taken place prior to this date. On 30/11, coherence is high (>0.8) in most parcels, suggesting that almost all parcels have been harvested. A gradual transition in the distribution of coherence values is observed between these dates. Figure 2.1-12 (c) shows the estimated percentage of harvested grid cells in Flevoland. It seems that most harvesting takes place after 1/10. Estimated percentages agree pretty well with those reported by SuikerUnie.

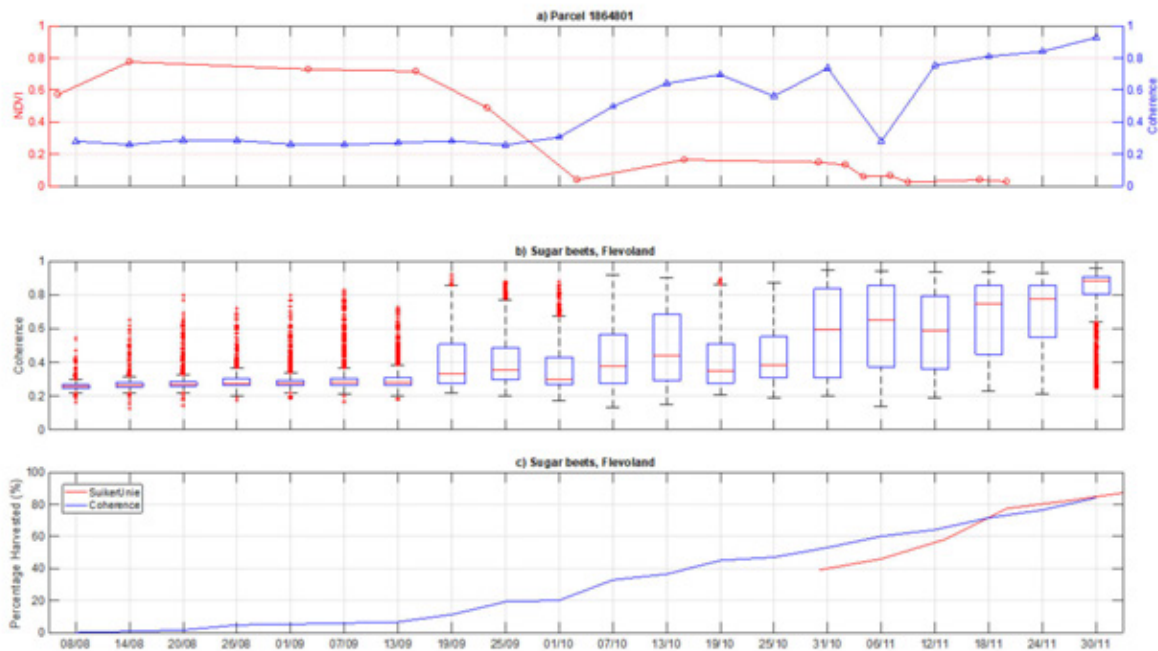


Figure 2.1-12 The top panel (a) shows a comparison of the NDVI (left) and Sentinel-1 coherence (right) data for a single parcel (Parcel ID 1864801). The middle panel (b) shows a box plot of the coherence values across all 763 sugar beet parcels. The bottom panel (c) shows the estimated percentage of harvested sugar beet parcels across the study domain (blue), compared to estimates from Suiker Unie (red).

2.1.6 Valorisation

TU Delft has trained NEO in the use and set-up of the processing chain of Sentinel-1 radar data. Since 2016, NEO uses radar data for crop classification and the detection of different crop stages: emergence, ground cover and harvest. For grass NEO uses radar images for the detection of cutting moments. NEO does this for various customers, including various European governments that monitor subsidies to farmers. In 2018 NEO followed the sugar beet harvest by delivering an update of the harvested plots every day to Cosun. For this she used both optical and radar images. A partial harvest could also be detected (Figure 2.1-13).

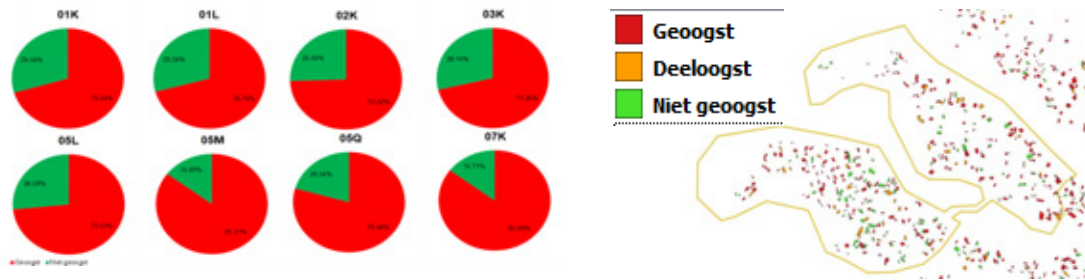


Figure 2.1-13 Rayon dashboard voor overzicht oogstvoortgang (links) en kaartje met ge oogste percelen.

2.1.7 Conclusions and recommendations

Conclusions

- Each of the crops has a distinctive temporal signature in the Sentinel-1 data, illustrating its suitability for real-time classification.
- In each of the crops, the accumulation of above-ground biomass during the vegetative stages results in an increase in the cross- and co-polarized backscatter, demonstrating its potential value for biomass/growth monitoring.
- The polarization ratio mitigates the influence of soil moisture variations, and is well-suited to biomass monitoring.
- Key dates such as emergence and closure dates are detectable using radar imagery. The guaranteed availability of observations regardless of cloud cover ensures latency of this key date information to users. Estimated emergence and closure dates were validated with field observations.
- Harvest dates were difficult to detect using backscatter data alone. Coherence data is invaluable for this task.

Recommendations

- Sentinel-1 data is freely available and distributed by ESA via the Sentinel hub. Therefore, there are no costs associated with acquiring the imagery. Ensured data availability, regardless of cloud cover, means it can provide timely and reliable data required for agricultural monitoring in the Netherlands. Though it is dual-pol (compared to quad-pol from Radarsat-2), the revisit time of ~ 2 days offers a unique and unprecedented opportunity for real-time monitoring.
- Key dates can be detected with Sentinel-1, providing an opportunity for immediate integration in current empirical yield prediction models and applications.
- Intensity data alone is insufficient to detect harvest in sugar beet and potato in particular. Limited validation data for harvest dates were available during this study. The results were plausible and promising nonetheless. It would be very beneficial to obtain detailed harvest data from growers or field agents for a larger-scale validation for all crops of interest.
- Sentinel-1 data itself clearly contains a lot of information on crop development. It has also been used to retrieve high resolution (1km) soil moisture by others. Integrating these data with state-of-the-art crop models would allow for real-time constrained estimate of crop development, as well as information on the demand and available supply of water, energy and nutrients. Data assimilation approaches are well-suited for this application.
- The ground data collected here is limited, but proved extremely valuable. A multi-year validation dataset would be an asset to the Dutch remote sensing and agriculture communities. This kind of data is time-consuming and expensive to collect if students need to be sent out to collect it. A "citizen science" approach, in which growers contribute data could be very beneficial. New tools like OpenDataKit could be used to transfer field measurements directly into a data repository.

References

- Haagsma, M., 2015. MSc. Thesis, TU Delft. "Crop Monitoring with Radar": (<http://resolver.tudelft.nl/uuid:06ff84a1-a55b-475a-8e99-6181d56b1720>)
- Steele-Dunne, S.C., H. McNairn, A. Monsivais-Huertero, J. Judge, P. Liu and K. Papathanassiou, 2017. "Radar Remote Sensing of Agricultural Canopies: A Review," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 10, no. 5, pp. 2249-2273, May 2017. doi: 10.1109/JSTARS.2016.2639043

Project output

- Haagsma, M., 2015. MSc. Thesis, TU Delft. "Crop Monitoring with Radar": (<http://resolver.tudelft.nl/uuid:06ff84a1-a55b-475a-8e99-6181d56b1720>)
- Khabbazan, Saeed, Paul Vermunt, Susan Steele-Dunne, Lexy Ratering Arntz, Caterina Marinetti, Dirk van der Valk, Lorenzo Iannini, Ramses Molijn, Kees Westerdijk and Corné van der Sande, 2019. Crop Monitoring Using Sentinel-1 Data: A Case Study from The Netherlands. *Remote Sensing* 11(16), 1887. <https://doi.org/10.3390/rs11161887>.
- Steele-Dunne, S.C., Corné Kempenaar & PL2.0 partners, 2017. "R3-AgriSens: Radar for Real-Time, Reliable Agricultural Sensing" Proposal submitted to NWO Groen II (April 2017, Unsuccessful).
- Steele-Dunne, S.C. et al., 2018. Monitoring Key Agricultural CROPS in the Netherlands using Sentinel-1," *IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Valencia, 2018, pp. 6639-6642. doi: 10.1109/IGARSS.2018.8518953 (<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8518953&isnumber=8517275>)

2.2 Biomass monitoring using a combination of optical images of satellites and drones (Bioscope)

Auteurs: Jeroen Verschoore & Tamme van der Wal

Uitvoerende partijen: AeroVision B.V., TerraSphere, Crop-R en Wageningen UR

2.2.1 Samenvatting (NL)

Dit deelproject is geïnitieerd door AeroVision, een bedrijf dat gespecialiseerd is in het inrichten en gebruiken van geo-informatievoorzieningen. Zij wil met dit project de leveringszekerheid en kwaliteit van biomassa-kaarten van gewassen voor gebruik in precisielandbouw verbeteren door met partners (Crop-R, TerraSphere) een service (Bioscope) te ontwikkelen en te valideren waarmee telers kunnen vertrouwen op tijdige levering van goede biomassa-kaarten door een slimme combinatie van opnames vanuit satellieten op onbewolkte dagen en vanuit drones met camera's op bewolkte dagen. In dit project zijn de eerste twee seizoenen gebruikt om de operationele levering van biomassa-kaarten door de Bioscope-service te realiseren. Gedurende het seizoen van 2017 is de service getest onder reële operationele omstandigheden en vanaf 2018 was de service operationeel. De resultaten worden gepresenteerd en besproken.

2.2.2 Introduction

For a good crop growth the farmer need to know how the crop is doing on the field. What is happening, do's the plant need food, is it ill and so on. Measuring the field with remote sensing is much faster, cheaper and gives information of the hole field, instead of using visual inspections and crop and soil analysis in a laboratory. To use sensors on the tractor the farmer has to do a great investment, using drone is quite expensive (to do a good analyses you need a time series of information). So Satellite information is a good and affordable option. From research over the past decades we know that it is quite possible to detect, for example N deficiency and stress symptoms with remote sensing. The challenge is to get the remote sensing information to the grower in a reliable, cost-efficient and, above all, easy way. Only on that conditions the farmer can and will use the data, for a better growth and lower environmental emissions.

2.2.3 Goal of the project

The Bioscope service has to show the operational delivery of crop biomass maps and Tcari/Osavi (N index) maps of calibrated images recorded from different satellites and drones, and derived products applied on more than 100 ha.

2.2.4 Description of the service

The unique selling point of BIOSCOPE is that it provides farmers with guaranteed and timely delivery of relevant information on their crops. BIOSCOPE translates the satellite data into actionable knowledge for farmers that directly engages in their daily operation. BIOSCOPE provides agricultural information products based on Remote Sensing imagery. It is an information service to farmers, farm advisors and agricultural processing industries, to help them understand spatial and in-season differences in their crops and fields. Spatial information on crops and soils becomes more relevant with the advent of precision farming technology. Detailed within-field information can help farmers to manage spatial and temporal variability associated with crop cultivation for the purpose of improving performance, production, and economic and environmental quality. BIOSCOPE offers the information every potato grower needs to make sound decisions on cultivation. BIOSCOPE is all about combining satellite images and Unmanned Aerial Systems (UAS) images in one service. Bioscope is a hybrid service based on the combination of satellites and drones to deliver the farmers guaranteed fresh information of their fields. Drones are used to fill in the cloudy periods. BIOSCOPE provides high delivery reliability at an affordable price, with satellites if possible and drones as needed.

Table 2.2-1 Available products for the farmer.

Product name	Specification
Soil zone map	Analysis of soil structures, translated in distinguishable zones. Directly usable for crop rotation strategy, soil sampling, planting, herbicide spraying.
Biomass monitoring	Vegetation index map (based on WDVI) showing patterns in crop development.
Chlorophyll / N content map	Index map showing patterns in actual chlorophyll content of the top leaves of the plant.
Phytophthora riskmap	Bygrowth map, indicating risks for crop protection, e.g. phytophthora.
Scouting map	Classification of deviations in growth (relative to average additional growth).
Task map N-fertilization	ISOXML or SHP-file task map. Directly feedable in task controller for fertiliser application.
Task map Haulm killing	ISOXML or SHP-file task map. Directly feedable in task controller for haulm killing.

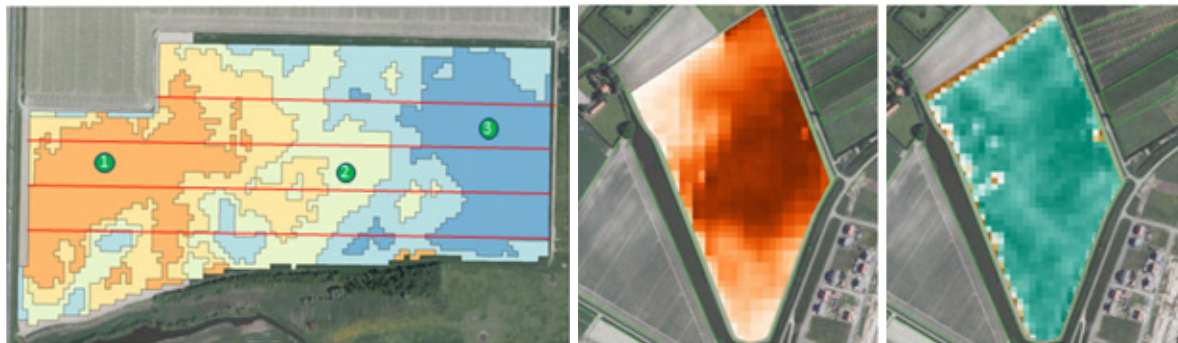


Figure 2.2-3 Examples of BIOSCOPE products: Left a soil zone map used for guided soil sampling. Middle and right two indicator maps with Nitrogen content (middle) and Biomass accumulation (right).

2.2.5 Work done

In the PL2.0 project two seasons are used to show the operational delivery of crop biomass maps and Tcari/Osavi by the Bioscope service. The season of 2017 is used to test the service under real operational conditions. The season of 2018 was used to demonstrate the service in a full operational way.

2.2.5.1 Description of the growing season 2017

In the first half the weather was relatively cold and until mid-July very dry. The 2017 precipitation map was long in line with that of the five driest climate years. Even so, it was not before June that we left behind the similarity of the extremely dry year 1976. In September there were heavy showers again. For potatoes 2017 can be summarized as follows: yields were fairly to good, growth mainly in August. The quality of the potato was also not very good. That was also the general picture in the potato countries around us, which again has led to very low prices.

2.2.5.2 BIOSCOPE performance 2017

In 2017 (operational test season), 675 ha of potatoes were monitored by BIOSCOPE, divided over 13 customers. The 10-day freshness was guaranteed for the whole period.

We delivered more than 95% of the images in 24 hours. Sometimes we delivered in 9 hours, only one time we needed almost 48 hours. Only on one occasion we didn't deliver a new image within 10 days, after an unsuccessful satellite acquisition due to clouds. A drone was sent out, but had 1 day delay because of the wind. In average the farmers had a fresh image every 8,5 days. The season started late but it ended also late: We delivered images till late October. In total 2000 maps were ordered. Some farmers used all products, others used only the index maps.

Our cloud forecasting was good: Good enough to base our satellite data acquisition versus drone acquisition. The cloud forecasting gave us a headtime to see when satellites would not be able to acquire imagery and drones were required. The Summer of 2017 was a period with a lot of clouds, so, we used a lot of drones. In the growing season we used 41% drone acquisitions, on the fields with the 10-day guarantee.

2.2.5.3 Description of the growing season 2018

The winter of 2017/2018 starts very wet and the real winter starts only end of February when every farmer starts looking for the spring to start in the field. Till end of April not much work can be done on the field because it was too wet. In May we have a very warm and beautiful period, which as result that all spring work was done very fast. End of May this period ends with some very heavy showers, resulting in flooded potato fields. Some fields are that long under water that the potato's dy. Farmers has to start planting over again. Because of the extremes in last year weather (2017) there were many problems with the seed potatoes that occur this summer.

After this heavy rain an extreme period of drought and hot sunny summer weather starts. In the first weeks the potato's grow fast, but after that the heat and dryness became a problem and most of the fields stops growing or the biomass was even declining. Even on fields with irrigation the growth was stopped. Only late august there was some rain, for the later and stronger potato varieties this result in new growth other were already dead. 2018 ends up in the top 3 of most dry years (Figure 2.2-4).



Figure 2.2-4 Rainfall deficit in The Netherlands in 2018.

For potatoes 2018 can be summarized as follows: yields were mostly low. The quality of the potato was also not very good and there are many worries about the storability. That was also the general picture in the potato countries around us. At the begin of the season the trade prices were very low, but now after harvest the prices rice up fast to a normal till high price.

2.2.5.4 BIOSCOPE performance 2018

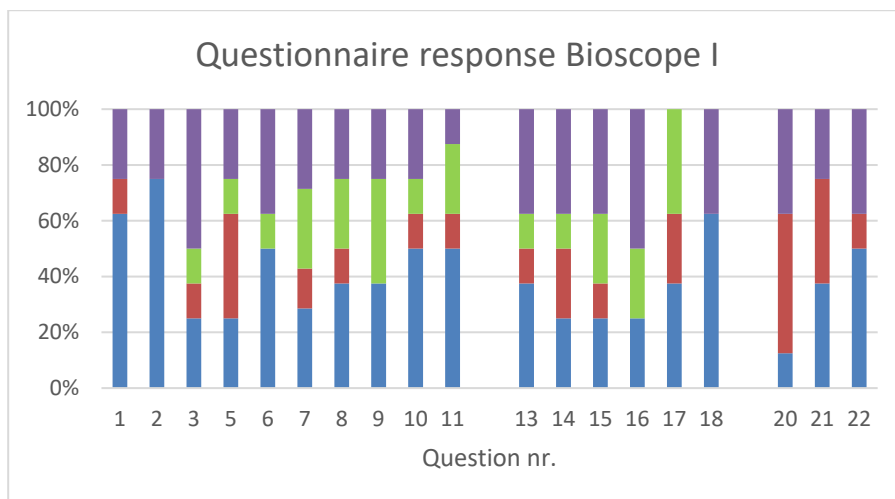
In 2018 bioscope serves 1708 hectares in 200 fields for 24 customers spread over all of the Netherlands (40 ROI's). The number of customers is relatively low, but because we serve several farm advisors with many fields (and farmers behind). They serve their customers with our maps and information. We not only serve potato's but also some grassland, sugar beets, bulbs and chicory pens. In total, farmers downloaded more than 22204 products (maps). That is ten times more than last year.

2.2.5.5 Review of feedback from Demo operations

Bioscope has captured the feedback from the users, not only on the KPIs but also on the user requirements from new and existing ones. For the collection of this feedback we had tree mean channels:

- The questionnaire,
- Conversations with users,
- The helpdesk loggings and in system monitoring

The questionnaire was filled in by 62% of our users. Not only the yes / no questions were filled-in but also a lot of tips/recommendations were given by the users. In the image below the results of the yes/ no questions are reported.



blue = yes purple = no green = no clue red = no answer

Answers from question 12 and 19 where farmers were not able to answer with yes/no are not shown in the image above. The results of these questions where:

12. Half of the respondents stated that the time between two images (10 days) was adequate, the other half did not provide an answer.

Not only the yes / no questions were filled-in but also a lot of tips/recommendations were given by the users. Some highlights:

- The majority of respondents thinks the BIOSCOPE system will increase accuracy and reduce cost and environmental impact;
- Majority finds the delivered information very useful but also thinks that scouting by respondent or crop advisor for supplementary information is still needed;
- The helpdesk of BIOSCOPE was adequate;
- The majority of respondents are curious to test BIOSCOPE in the season of 2018.

From the helpdesk contacts with the farmers we also get good and positive feedback and also an additional line of improvements of the system becomes clear.

2.2.6 Conclusions

Conclusions

- Bioscope was able to deliver two growing seasons more than 600 and 1000 ha of remote sensing information to farmers in an operational way.
- More than 95% of the information maps were delivered within 24 hours.
- A lot of farmers needed help/ introduction on how to use the maps and especially the task maps.
- farmers are enthusiastic about the easy reuse of the farm plan and the beautiful images. If possible, they want to use it for other crops and with additional products as well (e.g. seeding maps).

Recommendations

- The stability of the Akkerweb user interface must be to be improved.
- The farmers need assistant to reach their businesses case.
- Make the user interface more simple to use
- A farmers one data storage where he can store an combine all his data is needed.

2.3 Groenmonitor opbrengstbepaling suikerbieten

Auteurs: Gerbert Roerink en Jurriaan Visser

Uitvoerende partijen: Suiker Unie en Wageningen UR

2.3.1 Samenvatting

Dit deelproject heeft naar de mogelijkheden van satellietbeelden gekeken om de gewasontwikkeling te monitoren en de opbrengst te bepalen. De Groenmonitor.nl levert wekelijks NDVI groenindex beelden waarmee de biomassa gekwantificeerd kan worden. Deze beelden zijn gekoppeld aan de suikerbieten percelen met teeltinformatie, zoals zaaidatum, sluitingsdatum en oogstdatum en daadwerkelijke opbrengst. De resultaten laten zien dat de gewasontwikkeling goed te kwantificeren is op perceelsniveau middels de NDVI groenindex. Dit kan zowel ruimtelijk over de verschillende regio's van Nederland als in de tijd door het verloop van de NDVI over verschillende jaren te vergelijken. Op deze manier is de droogte van 2018 in kaart gebracht alsmede de impact van de overvloedige neerslag in Zuidoost Nederland in juni 2016. De koppeling naar daadwerkelijke opbrengst is lastiger omdat satellietbeelden slechts het loof zien maar de opbrengst zich in de grond bevindt.

2.3.2 Aanleiding

Suikerbieten is een veel voorkomend gewas in Nederland, geteeld op ongeveer 15.000 percelen met een areaal van ongeveer 70.000 ha. Meer dan 95% van de opbrengst wordt verwerkt door de Suikerunie, onderdeel van Royal Cosun, wat een coöperatie van ongeveer 10.000 bietentelers is. De oogstvoorspelling is een kritiek onderdeel van het werkproces van de Suikerunie, aangezien inzamelen van de oogst een enorme logistieke klus is, is het van belang om tijdig een betrouwbare schatting te hebben van de te verwachten oogst. Dit gebeurt met het Unitip opbrengst model. Op basis van teeltregistratie gegevens van de telers en de weersgegevens voorspelt dit model met een redelijke betrouwbaarheid de totale bietenopbrengst in Nederland. Echter op perceelsniveau en regionaal niveau kan dit model geen uitspraak doen. En ook de daadwerkelijke gewasgroei wordt vrijwel niet gemonitord. De vraag die vanuit de Suikerunie opkwam is of satellietbeelden dit kennishiaat zouden kunnen opvullen. Immers, satellietbeelden komen inmiddels meerdere keren per week beschikbaar (als wolken geen roet in het eten gooien) en deze geven kwantitatieve informatie over de gewasgroei met een resolutie van 10x10 m². Is het mogelijk om deze satellietinformatie te gebruiken op regionaal niveau, of zelfs op perceelsniveau. En kan hiermee ook een verbeterde oogstvoorspelling worden gerealiseerd?

2.3.3 Doel van het project

De projectdoelstelling is tweeledig:

1. Gewasmonitoring: In hoeverre is het mogelijk om met satellietbeelden de gewasontwikkeling van suikerbieten te monitoren en te kwantificeren
2. Opbrengstdetectie: In hoeverre is het mogelijk om een opbrengst bepaling te doen op basis van satellietbeelden

Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van de satellietbeelden uit de Groenmonitor (www.groenmonitor.nl). De satellietinformatie uit de Groenmonitor is gekoppeld aan teeltgegevens uit het teeltregistratie systeem Unitip van de Suikerunie. Op deze manier zijn de ruimtelijke en temporele patronen van de gewasontwikkeling in kaart gebracht en is de koppeling naar daadwerkelijke opbrengst gemaakt.

2.3.3.1 Groenmonitor

Meerdere keer per week maken satellieten (Sentinel-2 en Landsat) van heel Nederland gedetailleerde foto's met een resolutie van 10 tot 30 meter. Maar satellietbeelden zijn geen kant-en-klare producten. Zo kunnen de beelden niet op de precieze plek liggen, zijn ze vaak opgeknipt in meerdere stukken, moeten de wolken en schaduwen eruit worden geknipt en geven ze slechts DN (digital numbers) waarden weer die omgezet moeten worden in reflecties en andere betekenisvolle producten, zoals

NDVI groenindex kaarten (Figuur 2.3-1). Deze pre-processing wordt door WENR uitgevoerd en middels de Groenmonitor.nl beschikbaar gesteld aan het grote publiek (Roerink en Mucher, 2013).

Groenindex



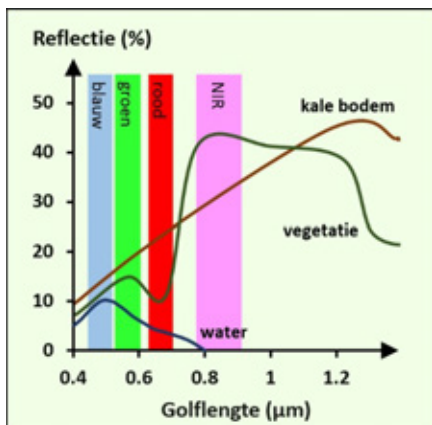
Figuur 2.3-1 Screenshot van de Groenmonitor.nl. Het "+" symbool markeert een suikerbieten perceel in 2014 met bijbehorende NDVI blauwe groeicurve; terwijl het "•" symbool een suikerbieten perceel uit 2016 met markeert met de bijbehorende paarse NDVI groeicurve.

2.3.3.2 NDVI Groenindex

Uit de opnames kan bij afwezigheid van wolken een groenindex (NDVI) worden bepaald. De index bepaalt letterlijk hoe groen het oppervlak is (hoeveelheid biomassa) en is een maat voor de biomassa ontwikkeling van de plantengroei. Planten, of beter gezegd groene biomassa, absorberen grotendeels het rode zonlicht middels de fotosynthese en reflecteren het merendeel van het nabij-Infrarode (NIR) licht. Bij kale bodems (rotsen, zand, geploegd land) is dit verschil veel kleiner (Figuur 2.3-2). Dit principe wordt gebruikt om vegetatie indicatoren te berekenen. De meest bekende is de Normalised Difference Vegetation Index (NDVI). De NDVI groenindex is een ratio tussen de reflecties van het rode en het NIR licht:

$$NDVI = (NIR - Rood) / (NIR + Rood)$$

De groenindex loopt van -1 tot 1, waarbij negatieve waarden open water aangeven, waarden tussen 0 en 0.2 kale bodem aangeven, een waarde van ongeveer 0.6 een gesloten gewas aangeeft en bij hogere waarden er steeds meer bladlagen aanwezig zijn totdat het NDVI signaal verzadigd is rond 0.95. Dit geeft aan dat er 3 of meer bladlagen aanwezig zijn.



Figuur 2.3-2 Reflectie-eigenschappen van kale bodem, vegetatie en water.

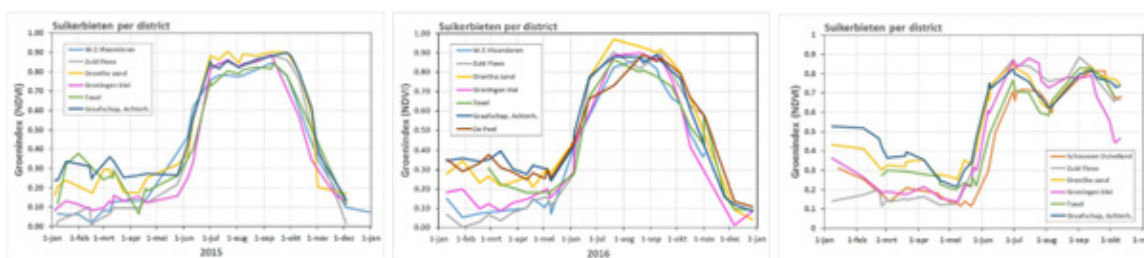
2.3.3.3 Unitip teeltregistratie

De benodigde veldgegevens van suikerbieten zijn afkomstig van het Unitip teeltregistratie systeem voor de aangesloten leden van Suikerunie. Hierin staat vermeld om welk perceel het gaat, welke suikerbieten ras is geteeld, de zaai-, sluitings-, en oogstdatum, de gebruikte bemestingsmiddelen en bestrijdingsmiddelen, etc. Tot en met 2016 waren de perceelsgrenzen in geografische units nog niet beschikbaar in Unitip, wat koppeling met de satellietbeelden een lastig en tijdrovend karweitje maakte. Vanaf 2017 zitten de geolocaties van de percelen wel in Unitip, mede als gevolg van dit project.

2.3.4 Resultaten en discussie

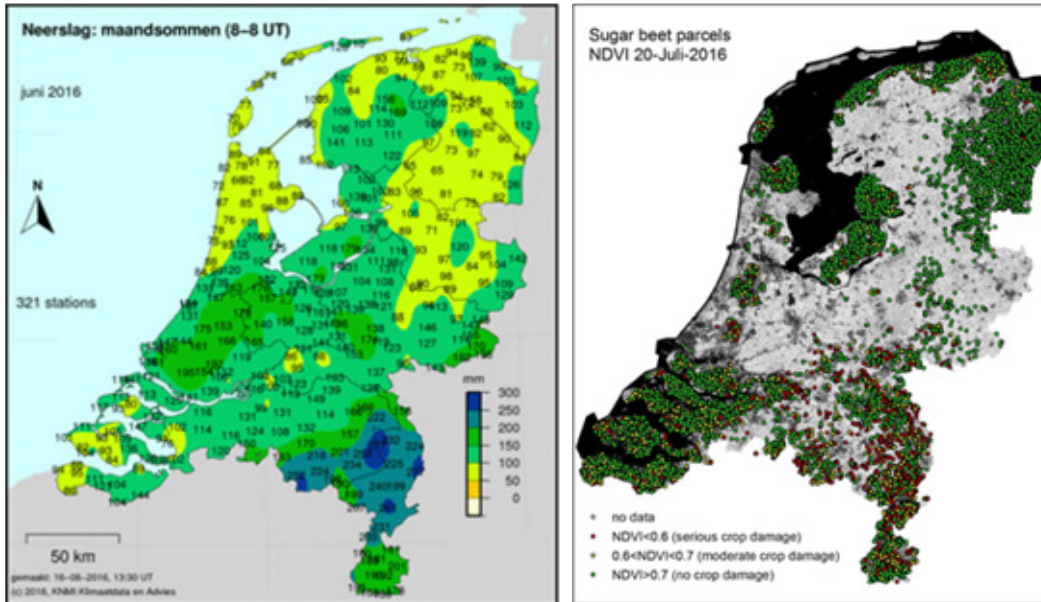
2.3.4.1 Gewasgroei monitoring

Vanaf 2014 is het jaarlijks verloop van de NDVI groeicurves bekeken per perceel en per regio. Het blijkt dat weersextremen een duidelijke invloed hebben op de gewasontwikkeling. Figuur 2.3-3 laat dit duidelijk zien. Voor een aantal regio's zijn de gemiddelde NDVI groeicurves berekend (op basis van de individuele percelen in de betreffende regio). De linker figuur laat de NDVI groeiprofielen voor 2015 zien, een jaar met redelijk optimale groeiomstandigheden (redelijk warm en niet te droog of te nat). Alle groeicurves per regio lijken in dit geval op elkaar. Echter, kijken we naar de middelste figuur van 2016, dan zien we al meer spreiding. Het jaar 2016 werd gekenmerkt door overvloedige regelval en hagelschade, met name in Zuidoost Nederland. De NDVI groeicurve laat dit zien middels een achterblijvende groei in juni t/m augustus in de Peel. Het jaar 2018 (de rechterfiguur) werd gekenmerkt door grote droogte van juni t/m augustus. Dit is ook duidelijk zichtbaar als een dip in de NDVI groeicurves van alle regio's. Echter de NDVI dip op de zandgronden (Texel, Graafschap) is veel dieper dan elders, als gevolg van het feit dat zandgronden het regenwater veel minder lang vasthouden dan kleigronden.

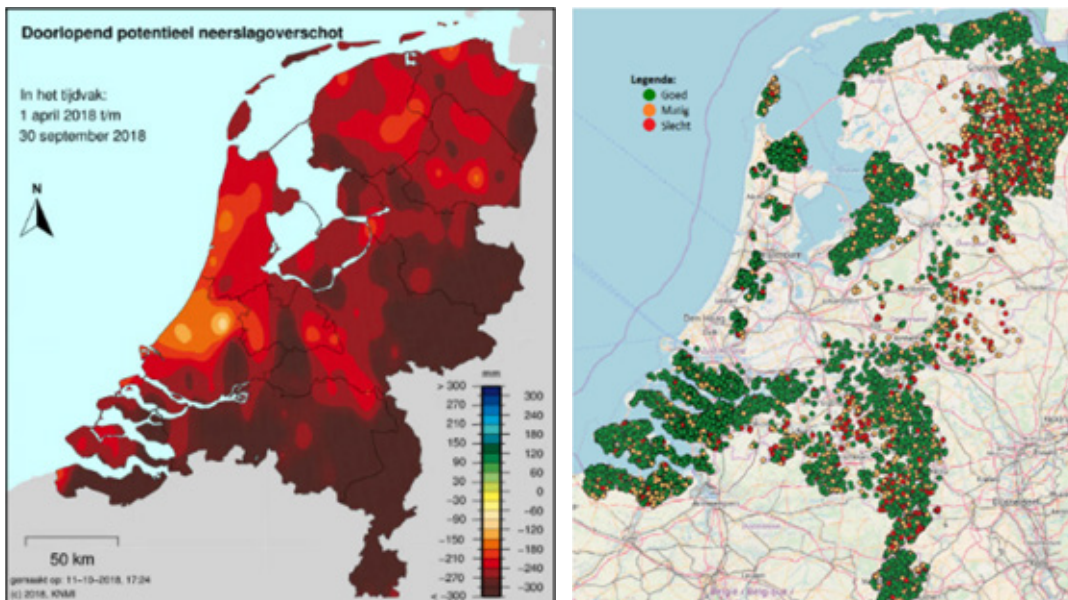


Figuur 2.3-3 Het NDVI groeiprofiel van een aantal kenmerkende regio's in Nederland voor de jaren 2015 (links), 2016, (midden) en 2018 (rechts).

Figuur 2.3-4 en Figuur 2.3-5 laten de ruimtelijke spreiding van de impact van de weersextremen in 2016 en 2018 op de NDVI waarden per suikerbieten perceel op het moment dat de weersimpact het meest extreem was. Weer is duidelijk dat er een grote correlatie is tussen deze weersextremen en de suikerbietenontwikkeling. Een ander opmerkelijk feit is dat de achterblijvende gewasontwikkeling regio specifiek is en perceel specifiek. In beide figuren liggen percelen met goede en achterblijvende gewasontwikkeling naast elkaar. Dat is ook niet zo verwonderlijk als je bedenkt dat de drainage en beregeningsomstandigheden ook per perceel sterk kunnen variëren. Echter nog niet duidelijk is wat dit betekent voor de daadwerkelijke opbrengst, want vaak is wel een herstel te zien in de gewasontwikkeling.



Figuur 2.3-4 De neerslagsom in juni 2016 (www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/archief/maand/rd) versus de NDVI waarde per suikerbieten perceel op 20 juli 2016.



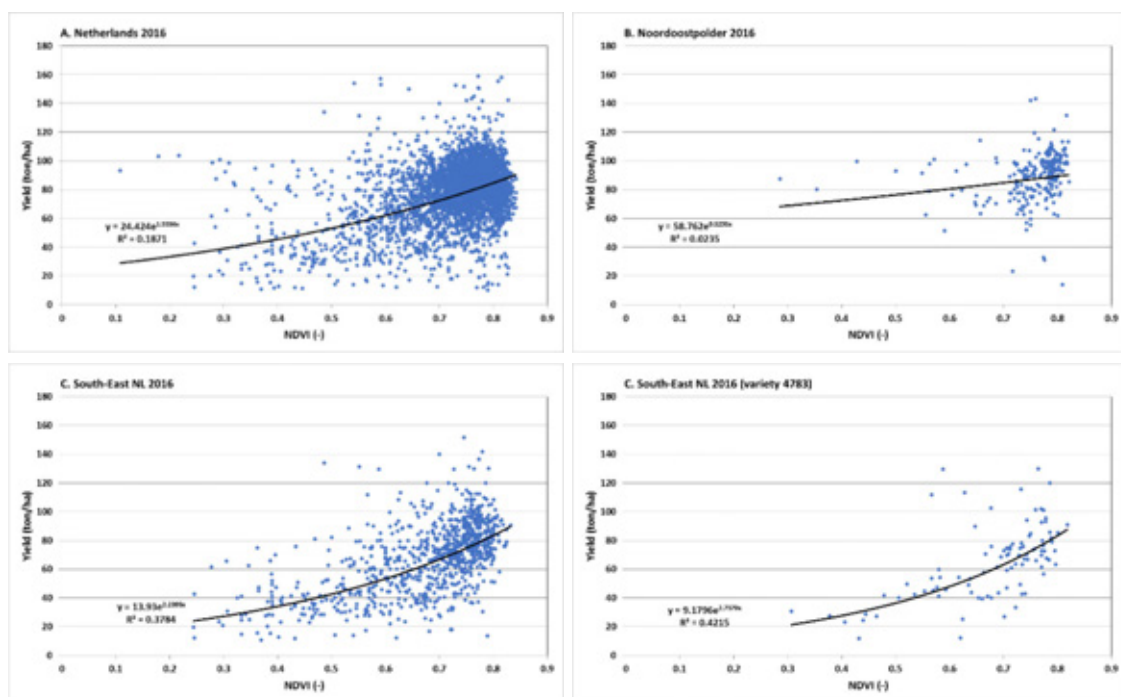
Figuur 2.3-5 Het neerslagoverschot op 30 september 2018 (www.knmi.nl) versus de NDVI daling van augustus t.o.v. juni per suikerbieten perceel in 2018 ingedeeld in 3 klassen.

2.3.4.2 Opbrengstbepaling

Nu duidelijk is dat de NDVI groenindex de gewasontwikkeling kan kwantificeren en ook de weersextremen duidelijk weergeeft is de volgende vraag hoe dit gekoppeld kan worden aan daadwerkelijke suikerbietenopbrengsten.

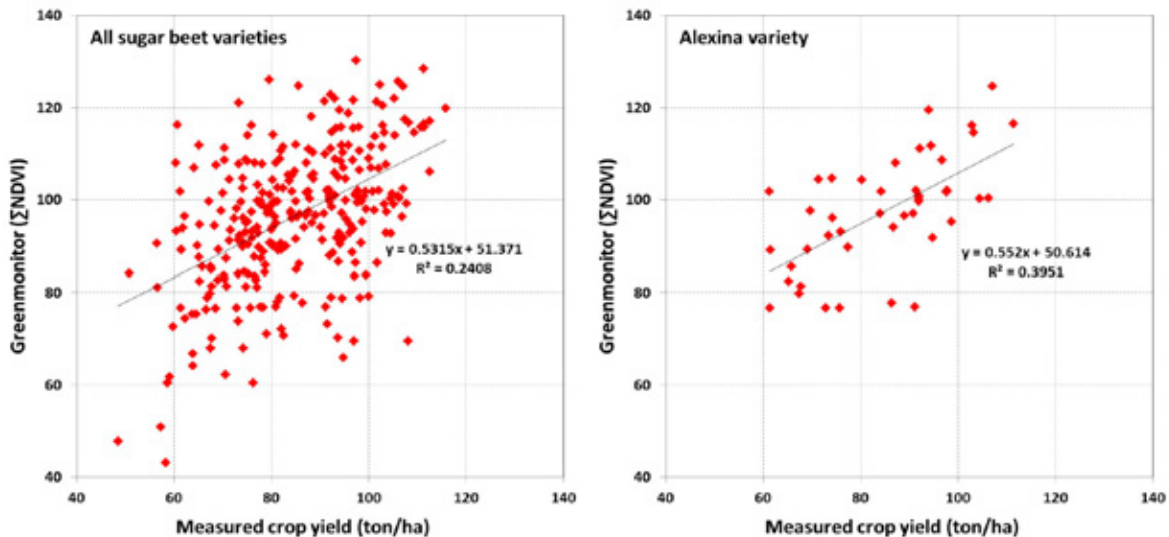
Hiervoor zijn de opbrengstgegevens uit het Unitip teeltregistratiesysteem van Suikerunie gekoppeld aan de NDVI beelden. In eerste instantie is een koppeling naar een enkele dag gemaakt en in tweede instantie een koppeling naar de cumulatieve NDVI (Σ NDVI) over het gehele groeiseizoen.

Figuur 2.3-6 laat de relatie tussen gemeten opbrengst en het NDVI beeld van 20 juli 2016 zien. Dit is ongeveer een maand na de excessieve neerslag in het Zuidoosten van Nederland in juni. Als we naar de scatterplot van geheel Nederland (Figuur 2.3-6-A) kijken zien we een grote puntenwolk van hoge opbrengsten en hoge NDVI waarden met een kleine staart van kleinere opbrengsten en lagere NDVI waarden. De correlatie is laag ($R^2=0.18$). Dit is ook het geval als we inzoomen op alleen de percelen in de Noordoostpolder. Echter, als we inzoomen op Zuidoost Nederland zien we wel een duidelijke correlatie tussen een lagere suikerbietenopbrengst en een lagere NDVI waarde, veroorzaakt door achterblijvende gewasontwikkeling. We kunnen concluderen dat het NDVI beeld van 20 juli 2016 weinig zegt over de opbrengstvoorspelling onder normale groeiomstandigheden, maar wel een opbrengst voorspellende waarde heeft onder extreme weersomstandigheden.



Figuur 2.3-6 De relatie tussen de NDVI op 20-Juli-2016 en de suikerbieten opbrengst voor A. alle suikerbieten percelen in Nederland, B. de Noordoostpolder, C. het Zuidoosten van Nederland en D. het Zuidoosten van Nederland alleen voor het ras 4783.

Hoe zit het dan met de opbrengst voorspellende waarde van de totale NDVI groeicurve? Dit is geanalyseerd door de cumulatieve NDVI (Σ NDVI) over het gehele groeiseizoen te berekenen en te koppelen aan de gemeten opbrengstgegevens. Figuur 2.3-7 laat de resultaten zien voor het jaar 2016. Als we alle suikerbietenpercelen koppelen aan de opbrengstgegevens geeft dat een kleine correlatie van $R^2=0.24$. Echter de correlatie per suikerbietenras is aanmerkelijk hoger; in dit voorbeeld is de correlatie voor het Alexina ras $R^2=0.40$. Als we het versimpelen kunnen we stellen dat ongeveer 40% van de gemeten opbrengst per suikerbietenras verklaard wordt door de bladontwikkeling van de plant, welke we meten met de NDVI. De rest wordt bepaald door andere parameters, zoals bodemsoort en teeltmanagement (bemesting, onkruidbestrijding, etc.).



Figuur 2.3-7 Relatie tussen de cumulatieve NDVI en de suikerbieten opbrengst voor alle percelen in Nederland (links) en voor alleen het ras Alexina (rechts).

2.3.5 Valorisatie

De Suikerunie heeft kennis genomen van de (on)mogelijkheden van satellietinformatie en dit positief gewaardeerd. Als gevolg hiervan is het Unitip teeltregistratie systeem uitgebreid met een Geocomponent, zodat er ook gewerkt kan worden met satellietbeelden en andere geo-informatie. De informatie uit satellietbeelden is nog niet geïncorporeerd in het operationele systeem van de Suikerunie, echter in extreme omstandigheden, zoals de 2018 droogte is actuele satellietinformatie gebruikt om de opbrengstbepaling aan te passen en navenant de logistieke processen rondom de oogstcampagne en verwerking ook bij te stellen.

Er wordt serieus nagedacht hoe en op welke manier deze satellietinformatie kan worden afgenomen. Een mogelijkheid is om dit middels een servicecontract de Agrodaticube te regelen. Voordeel is dat de Suikerunie zelf niet met satellietbeelden aan de slag hoeft, maar dat er per perceel een NDVI waarde en afgeleide producten (sluiting gewas, maximale groenheid. Etc.) worden geleverd die direct te koppelen zijn in het Unitip teeltregistratie systeem.

2.3.6 Conclusie en aanbevelingen

Conclusies

- Beter zicht op de (on)mogelijkheden van satellietbeelden
- Een methode om bij extreme weersomstandigheden beter inzicht te krijgen in de effecten op de suikeropbrengsten
- Netwerk op het gebied van 'precisielandbouw'

Aanbevelingen

- Koppeling met gewasgroei-model, zoals WOFOST of LINTUL
- Verdere afleiding en verfijning van satellietgebaseerde gewasparameters, zoals start groeiseizoen, sluitingsmoment gewas, piekvegetatie, etc.

2.3.7 Literatuurlijst

Referenties

Roerink, G.J. & C.M.A. Mucher (2013). Nationaal Satelliet Dataportaal Ontsluiting en toepassingen. WUR publicatie.

Deelprojectoutput

Gezamenlijk Suikerunie-WENR artikel in vakblad De Boerderij over de impact van de droge zomer van 2018 op de suikerbietengroei:

<https://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Achtergrond/2018/10/Droogte-goed-zichtbaar-op-gewasbeelden-suikerbieten-348496E/>

Presentatie op Agrofoodtechbeurs in Den Bosch in december 2018

3 Nearby sensing en ziektedetectie

3.1 Beeldanalyse voor detectie ziekten in aardappel

Auteurs: Jan Kamp, Pieter Blok, Gerrit Polder, Jan van der Wolf, Henk Jalink

Uitvoerende partijen: BO-Akkerbouw/LTO Nederland, Kverneland Mechatronics BV, Agrico, HZPC, NAK, Phenovation BV en Wageningen UR

3.1.1 Samenvatting

Dit deelproject is gericht op de ontwikkeling van een sensorsysteem voor ziekten in aardappelgewassen. Daarbij werd gericht op het kunnen detecteren van virus- en bacterie-zieke planten in aardappelpootgoedgewassen. Er werden onderzoeken gedaan onder geconditioneerde omstandigheden en onder veldomstandigheden. Eerst werd onder geconditioneerde omstandigheden bepaald welke sensortechnieken het meest geschikt waren voor ziekte-detectie. Dit bleken spectrale en 3D camera's te zijn t.o.v. chlorofyl fluorescentie en thermische technieken. Combinaties van sensoren gaven betere resultaten. Daarom werd een scansysteem gebouwd voor gebruik in het veld met onder de kap zowel spectrale als 3D camera's.

Samenvattend kan gesteld worden dat de afgelopen 4 jaar flinke vorderingen zijn gemaakt in de detectie van virus en Erwinia zieke planten. Dankzij de benutting van Deep Learning technologie zijn de percentages goed gescoorde planten op een hoog niveau beland. Vooral op het terrein van Erwinia detectie is vooruitgang geboekt. De nauwkeurigheid van de detectie van Erwinia zieke planten is sterk gestegen. Opvallend is de goede score op viruszieke planten in het begin van het seizoen terwijl die later in het seizoen sterk wegzakt. Dit vraagt nader onderzoek. Voor de vertaling naar een werkend prototype is meer tijd nodig. Het detectiesysteem moet robuuster worden.

Een uitgebreider verslag van dit deelproject is te vinden in het Engelstalige rapport:

Kamp, Jan, Pieter Blok, Gerrit Polder, Jan van der Wolf & Henk Jalink, 2019. *Smart Disease Detection Seed Potatoes 2015 – 2018*. Wageningen UR Report 793 (<https://doi.org/10.18174/494707>).

3.1.2 Aanleiding

Virus- en bacterieziekten vormen één van de grootste problemen in de pootaardappelteelt. Eenmaal aangetroffen in het veld kunnen viruszieke (Y-virus) en Erwinia zieke aardappelen leiden tot afkeuringen van partijen pootgoed met een financiële schade tot gevolg. De directe schade door Erwinia aandoeningen bedraagt voor de pootgoedtelers jaarlijks ca. € 12 miljoen.

De huidige detectie van ziek pootgoed vindt plaats door menselijke selecteurs. Jaarlijks wordt er in Nederland voor ongeveer € 6.5 miljoen aan kosten gemaakt voor handmatige selectie om de ziektedruk op het veld onder controle te houden. Veel schade ontstaat doordat de ziekte niet in een vroeg stadium wordt ontdekt. Daarom bestaat er de behoefte naar een snelle en adequate ziektedetectie. Een vroege detectie van zieke planten met moderne vision technieken kan de kosten voor selectie flink drukken. De nadruk ligt hierbij op de detectie van Erwinia, gezien de grote financiële schade.

Na een voorlooppject in 2010 en 2011 is het voorliggende onderzoek gestart als PPS van de Topsector Agro & Food als onderdeel van het onderzoeksprogramma "op naar precisielandbouw 2.0" met als partners BO-Akkerbouw / LTO Nederland, Kverneland Mechatronics BV, Agrico, HZPC, NAK en Phenovation BV met als looptijd 2015 – 2018.

3.1.3 Doel van het project

Het doel van het project is het ontwikkelen van een smart ziekzoeker in pootaardappelen, een toepassing die in staat is om virus- en Erwinia zieke aardappelplanten te herkennen. Om tot een succesvol gebruik in de praktijk te komen, worden op voorhand hoge eisen gesteld aan de mate waarin deze zieke planten herkend worden. Immers, voorkomen moet worden dat bij controle door de NAK dient een veld pootaardappelen na "machinale" inspectie wordt afgekeurd.

De gedachte bij de start van het project was om achtereenvolgens:

- onder lab omstandigheden diverse technieken te testen.
- met de meest kansrijke toepassingen verder te gaan.
- na 1-2 jaar in het lab de stap te maken naar het veld en de technologie te testen onder praktijkomstandigheden.
- langs deze weg na 4 jaar een prototype te hebben dat als basis kan dienen voor het ontwikkelen van een commerciële toepassing door het bedrijfsleven.

Bij de uitvoering is deze lijn ook herkenbaar. Echter, de technische ontwikkeling van een voldoende goed werkend prototype vraagt een langere doorlooptijd.

3.1.4 Aanpak en resultaten

3.1.4.1 Beeldherkenning

In 2015 is gestart met een brede(re) verkenning van mogelijk geschikte technieken voor de herkenning van Erwinia en virus zieke planten. In het laboratorium metingen verricht aan in potten geteelde zieke en gezonde planten. Hierbij zijn 5 technieken benut:

Spectrale camera techniek

Voor het onderzoek is gebruikt gemaakt van een hyperspectraal camera (193 banden van 3 nm) in een opstelling, die scans maakt van de zijkant van de plant, om zodoende zowel de onderste als de bovenste delen van de plant te kunnen analyseren. Als onderdeel van het onderzoek is ook geanalyseerd of op eenvoudige wijze pixels van blad en stengel te onderscheiden zijn (voor Erwinia waarschijnlijk relevant). Dit blijkt eenvoudig te zijn door een zogenoemde lineaire classifier te trainen op het reflectiespectrum.

Viruszieke planten blijken goed vroegtijdig te herkennen te zijn. De resultaten zijn in de eerste meetweek gelijk aan de score van de gewas expert. Pixels uit de bladeren dragen iets meer bij aan het resultaat dan pixels uit de stengel. Bovendien blijken pixels uit het onderste deel van de plant beter resultaat te geven dan pixels die hoger in het gewas liggen.

Detectie van Erwinia blijkt met deze techniek heel moeilijk te detecteren. Belangrijkste reden is dat de symptomen heel lokaal zijn, zoals verwelking van top bladeren, zwartbenigheid in het onderste deel van de stengel. De analyse is gedaan op een random selectie van blad en stengel pixels van de hele plant.

Geconcludeerd is dat deze techniek tot goede resultaten leidt voor de detectie van viruszieke planten en daarom in het verdere onderzoek meegenomen is.

Chlorofyl Fluorescentie techniek

De meetresultaten met de chlorofylfluorescentie methode zijn op hoofdlijn vergelijkbaar met die van de spectrale techniek, zowel voor viruszieke als Erwinia zieke planten. Een voorwaarde voor dit resultaat is dat de planten geadapteerd moeten zijn aan een laag niveau van licht (bij voorkeur minimaal een half uur). Dit is een probleem voor meten in de praktijksituatie: alleen 's nachts meten met een ziekzekerobot is vooralsnog geen reële optie. Dit is de reden om deze techniek, die niet wezenlijk beter "presteert" dan (hyper)spectraal opnames. Daarom is deze techniek niet verder mee genomen in het onderzoek.

Thermische camera

De hypothese dat verwelkende Erwinia planten uit het veld een groter temperatuurverdeling laten zien binnen de plant blijkt juist. Bij een van de experimenten bleek dat planten die zijn opgegroeid in de proefruimte geen temperatuurverschil tussen Erwinia ziek en gezond laten zien. Bij jonge planten die met Erwinia geïnfecteerd zijn laten de onderste en oudere bladeren een verstoorde bladafkoeling / wateropname zien in vergelijking met de gezonde planten.

De verschillen zijn meetbaar in een geconditioneerde omgeving. In absolute zin zijn de verschillen in bladtemperatuur klein, zodat bij een vertaling naar een praktijktoepassing temperatuurreacties van een plant in buitencondities sterker gerelateerd zullen zijn aan zonstraling, temperatuurwisselingen, luchtvochtigheid en bodemvocht dan aan plant-infecties. Daarnaast vraagt de techniek real-time datalogging en zijn beeldcorrecties nodig. Dit maakt het minder kansrijk om deze techniek in te zetten in een praktijkomgeving, zeker niet als leidende (discriminerende) techniek, hoogstens als een ondersteunende. Deze techniek is daarom in het vervolgonderzoek niet verder meegenomen.

3D techniek

Deze techniek is niet toegepast op virus besmette planten omdat het virusziek minder invloed heeft op de groei en groeisnelheid van een plant dan bij Erwinia zieke planten. De experimenten met de 3D camera tonen aan dat het plantoppervlak en de groeisnelheid bij Erwinia geïnfecteerde planten, bepaald uit het kleurenbeeld, significant kleiner is dan die van gezonde planten. Daarbij blijken de Erwinia geïnfecteerde planten minder compact zijn dan gezonde planten. Per saldo heeft een Erwinia geïnfecteerde plant een significant kleiner volume dan een gezonde plant.

Met een 3D camera met additionele kleurbeelden kan goed onderscheid gemaakt worden tussen Erwinia ziek en gezond, mits dit gebeurt over een tijdreeks. De techniek lijkt geschikt voor ziekzoekende, mits een groeiachterstand tijdig in het groeiseizoen kan worden vastgesteld. Deze techniek is daarom in het vervolgonderzoek verder meegenomen.

Force-A techniek

Force-A beschikt over een 2 typen handmeters, die veel in de druiventeelt worden ingezet voor de detectie van meeldauw aantasting en rijpheid van de druif. Uit een 1 op 1 vertaling naar Erwinia detectie komt naar voren dat deze technieken geen onderscheidend vermogen tussen Erwinia zieke en gezonde planten als het gaat om de chlorofyl index en de flavonolen. Een nadeel van de Force-A sensoren is dat zij zogenoemde spotmetingen doen en omdat ze niet beeldvormend (niet de hele plant wordt gemeten) worden mogelijk zieke plekken gemist. De huidige MX-330 en MX-375 zijn in de huidige uitvoering contactsensoren en dus minder geschikt voor veldmetingen.

In deze vorm zijn Force-A sensoren niet zinvol inzetbaar. De basis van de Force-A benadering is het zoeken naar specifieke afbraakproducten die te detecteren zijn. Dit vraagt om een nadere analyse van afbraakstoffen van de Erwinia bacterie en te verkennen of hiervoor een meetmethode te ontwikkelen is. Dit maakt deze techniek minder passend in het lopende project.

3.1.4.2 Resultaten

2016

In 2016 is het onderzoek voortgezet met de hyperspectraal techniek en de 3D techniek. Hiervoor is in navolging van 2015 opnieuw een pottenproef ingezet met zowel virus- als Erwinia zieke planten. Dit keer een grotere proef om tot statistisch betere resultaten te komen. Opvallend is wel dat de planten besmet met Ssp Brasiliensis nauwelijks opkwamen. De planten met Ssp atroseptica kwamen relatief goed op en die bemest met Dsolani duidelijk minder dan de Ssp atroseptica. Verder viel op dat de planten in de meetperiode gedrongen waren: pas na afloop van de meetperiode kwamen de planten versneld in groei.

De resultaten liggen in lijn met die van 2015 voor herkenning van viruszieke planten. Voor de verbetering van de Erwinia herkenning zijn in dit jaar een serie technieken binnen de 3D omgeving verkend (zogenoemde features, zoals de convex hull benadering, volume bepaling) die vervolgens in een machine learning algoritme zijn meegenomen. In dit jaar is ook getest of de zogenoemde 2,5D methode (combinatie van 2D met diepte informatie) een vergelijkbaar resultaat geeft dan een echte 3D informatie. De correlatie blijkt hoog te zijn, waardoor snellere en goedkopere methoden binnen

bereik komen. Het aantal goed geclassificeerde planten lag in 2016 op 87,3%. Echter het percentage goed gedetecteerde Erwinia planten lag op slechts 41,5%.

2017

In 2017 is de stap gezet naar metingen in het veld. Dit vond plaats op een proeflocatie van de NAK in Emmeloord waar een zevental rijen van 110 en 66m zijn geplant met een relatief hoge besmettingsgraad van Erwinia en virus. In de aanloop naar het seizoen is een speciale meetunit ontworpen die 2 rijen tegelijk kan meten d.w.z. 1 rij met een 3D camera (Ensensio) en 1 rij met een hyperspectrale camera (Specim FX10). Deze camera's zijn afgeschermd van daglicht en voorzien led- resp. halogeen verlichting (Figuur 3.1-1).

Bij de analyse van de datasets is gefocust op de data van rij 6 en 7 (resp. ras Vermont met PVY en PCR/11 met PVY). De data zijn geanalyseerd met behulp van zogenoemde Deep Learning methodiek. Het Deep Learning systeem is getraind met data van rij 2 en 3 en vervolgens zijn de planten van rij 6 en 7 met het algoritme beoordeeld. De resultaten uitgedrukt in het percentage goed gescoorde planten (zowel ziek als gezond) ligt in de verschillende meetweken tussen de 89 en 93%. De resultaten uitgedrukt in het nauwkeurigheid van alleen goed gescoorde zieke planten ("goed gescoord" / "goed gescoord + fout gescoord") ligt aanmerkelijk lager nl. 40-53% in de eerste 3 meetweken (slechts 23% in de 4^e meetweek). Ten behoeve van het artikel Potato Virus Y detection in Seed potatoes Using Deep Learning on Hyperspectral Images (Polder *et al.*, 2019) is ook een analyse gemaakt waarin gecorrigeerd is voor vervuiling van de data door beeldmateriaal van buurplanten. Na correctie stijgt de nauwkeurigheid van de eerste meetweken naar 78 – 92% (slechts 30% in de 4^e meetweek). De eerste stijging is spectaculair en kan verklaard worden door de effecten van door elkaar heen groeiende planten en kleine onnauwkeurigheden in GPS locaties van elke plant). Een verklaring voor de lage nauwkeurigheid in de 4^e week is op dit moment niet te geven, maar verdient wel aandacht in een vervolgproject.

De analyse van de Erwinia zieke planten vond in 2017 ook plaats met machine learning technieken. De best werkende techniek (multi-layered perceptron) liet een percentage van goed gescoorde planten zien van 87%. Echter, de nauwkeurigheid van uitsluitend besmette planten laat te wensen over: slechts 41% van de zieke planten wordt goed geclassificeerd. Het is duidelijk dat deze resultaten moeten verbeteren om tot een praktijkwaardige toepassing te komen.



Figuur 3.1-1 Meetunit voor metingen in het veld.

2018

In 2018 zijn de metingen in het proefveld van NAK herhaald, nu met meer planten en een iets grotere plantafstand (50cm). Dit laatste is gedaan om gedurende een groter deel van het teeltseizoen beeld van separaat groeiende planten kunt meten. Opnieuw is gemeten met dezelfde meetunit met zowel de hyperspectrale meettechniek als de 3D techniek. Afwijkend ten opzichte van 2017 is de gekozen analyse techniek voor Erwinia. Gestimuleerd door de goede resultaten van de Deep Learning techniek voor viruszieke planten is deze in 2018 ook gebruikt voor de analyse van de Erwinia planten.

Voor virusdetectie zijn in 2018 vergelijkbare scores gevonden als in 2017. Het percentage van goed geclassificeerde planten ligt tussen 89 en 93%. Ook de nauwkeurigheid van de beoordeling van zieke planten ligt in de eerste 3 meetweken op een goed niveau van 55-63%, terwijl de nauwkeurigheid in de 4^e week tegenvalt (34%). Het lijkt erop dat de slijtage van het bladpakket in de latere weken leidt tot een slechtere detecteerbaarheid van viruszieke planten.

Bij de analyse van de Erwinia zieke planten is zoals aangegeven gekozen voor een analyse op basis van het Deep Learning algoritme. Hiervoor zijn 2 systemen gebruikt, de zogenoemde Resnet 18 en Resnet 50. Met de eerste wordt een hele hoog percentage van de planten goed gescoord (95%) tegenover 82% met Resnet 50. Deze percentages zijn overigens verrassend goed. Ook de nauwkeurigheid van ziek geclassificeerde planten ligt hoog (92% bij Resnet 18 en 80% bij Resnet 50).

3.1.5 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Samenvattend kan gesteld worden dat de afgelopen 4 jaar flinke vorderingen zijn gemaakt in de detectie van virus en Erwinia zieke planten. Dankzij de benutting van Deep Learning technologie zijn de percentages goed gescoorde planten op een hoog niveau beland. Vooral op het terrein van Erwinia detectie is vooruitgang geboekt. De nauwkeurigheid van de detectie van Erwinia zieke planten is sterk gestegen.

Opvallend is de goede score op viruszieke planten in het begin van het seizoen terwijl die later in het seizoen sterk wegzakt. Dit vraagt nader onderzoek.

Voor de vertaling naar een werkend prototype is meer tijd nodig. Het detectiesysteem moet robuuster worden. Deep learning vraagt om een grote(re) dataset waarin allerlei rassen, de verschillende relevante Erwinia (3) en virussoorten worden meegenomen. Daarnaast zijn er vragen ten aanzien van het vereiste kwaliteitsniveau: wanneer voldoet het systeem aan de gangbare NAK eisen?

De cameratechnologie zal ook de komende jaren snel veranderen. In het project is gewerkt met relatief dure en langzame hyperspectraal techniek. Voor Deep Learning wordt doorgaans gebruik gemaakt van RGB camera-beelden. Het is de vraag of dit ook voor de toekomst de geëigende techniek zal zijn, die een grote(re) werksnelheid mogelijk maakt.

Aanbevelingen

Het verdient aanbeveling om nader onderzoek te starten waarin bovenstaande vragen centraal staan.

3.1.6 Literatuur

Gedurende de projectperiode zijn de voortgang en tussentijdse resultaten regelmatig gecommuniceerd met de agrarische sector in Nederland. Een uitgebreider verslag van dit deelproject is te vinden in het rapport:

Kamp, Jan, Pieter Blok, Gerrit Polder, Jan van der Wolf & Henk Jalink, 2019. Smart Disease Detection Seed Potatoes 2015 – 2018. Wageningen UR Report 793.

Deelprojectoutput

2016

- presentatie op de Delphy Pootdappeldag (Emmeloord)
- artikel in de nieuwsbrief van BO-Akkerbouw
- Diverse berichten op Twitter
- Persbericht
- Diverse nieuwsberichten over de voortgang van het project 'Smart disease detection'.

2017

- Open dag 6 Juli 2017, NAK proefboerderij.
- Diverse nieuwsberichten in agrarische vakbladen.
- presentatie op de AgroFood Tech beurs (Den Bosch 13-14 december 2017).



Nieuwe Oogst (15-7-17).

4 Ontwikkeling van precisielandbouw-applicaties in akkerbouw en graslandmanagement

4.1 Toepassingen van GEO informatie in applicaties

Auteurs: Corné Kempenaar en Annette Bulle

Uitvoerende partijen: Agrifirm Plant B.V., Agrometius B.V., Bayer Cropscience SA-NV, Kverneland Group Nieuw-Vennep B.V. en Wageningen UR

4.1.1 Samenvatting

Inspelen op de ruimtelijke variatie binnen een landbouwperceel of gewas biedt de mogelijkheid om gebruik van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen duurzamer te maken. Dit noemen we variabel doseren (VRA, *variable rate technology*). Rond 2015 zijn er sensorsystemen waarmee variatie in bodem of gewas in kaart gebracht kan worden. Voor iedere VRA applicatie heb je drie componenten nodig: (1) data/kaart met variatie, (2) beslisregels c.q. modellen die de data/kaarten vertalen in geo-gerefereerde minimum effectieve doseringen, en (2) machines die geo-gerefereerd variabel kunnen doseren.

Aan de ontwikkeling en validatie VRA applicaties werd gewerkt op twee locaties in PL2.0. De eerste locatie was de een akkerbouwbedrijf in Abbenes (Forward Farm) en de tweede locatie een bloembollenbedrijf in Andijk. Op het eerste bedrijf werd VRA onkruidbestrijding, stikstof-bijmesten en loofdoding getest op praktijkpercelen. De besparingen aan inputs lagen in de orde van grootte van 40% t.o.v. gangbare praktijk en met behoud van goede werking. De toepassingsmogelijkheden van de drie VRA's zijn vergroot door ze te verwerken in Apps op Akkerweb. De toepassingen worden sinds 2018 toegepast in het NPPL project en in WURKS lesmodules.

Op het bloembollenbedrijf werd een groot aantal proeven gedaan om de optimale sensortechniek te vinden voor gewasbiomassa-metingen plus de ontwikkeling van beslisregels voor variabel doseren. De conclusies zijn:

1. Meting biomassa: met een Greenseeker kan redelijk goed de biomassa (NDVI) worden bepaald van een tulpengewas. Een groot nadeel is dat de bloei een goede meting in de weg staat. Enigszins afhankelijk van de kleur (van de bloemen) wordt de meting hierdoor sterk beïnvloed.
2. Relatie biomassa – dosering – residu: het lijkt er op dat bij minder biomassa, bepaald op basis van NDVI, een lagere dosering kan worden toegepast. Bij de hogere doseringen zijn met minder biomassa relatief hoge residuwaarden gevonden. In het laatste proefjaar is een ca 30% lagere dosering gegeven in de kleinst geplante bolmaat (laagste biomassa). Er zijn wel meerdere bespuitingen nodig voor het verschil tussen de bolmaten (biomassa) tot uiting komt. Als slechts één of enkele bespuiting(en) mag/mogen worden gedaan, is het de vraag of er ook met minder biomassa voldoende actieve stof in het gewas komt.
3. Er kan geen conclusie worden getrokken over de residuwaarden en de bescherming tegen Botrytis in deze proeven. Ondanks het verhogen van de ziektedruk is geen noemenswaardige aantasting in het gewas gekomen.
4. De resultaten van de praktijkproeven met betrekking tot bolmaat – biomassa – residu komen overeen met de veldproeven bij Bayer CropScience.

4.1.2 Aanleiding

Dit Deelproject komt voort uit de ambitie van de vijf partners om geo-informatie over bodems en gewassen te gebruiken in 'landbouw met meer precisie' via *variable rate application* (VRA) technologie. Agrifirm Plant, Agrometius, Bayer CropScience en Kverneland group werken samen met WR op dit thema. Kverneland is de initiator van dit deelproject vanuit een R&D vraag op het gebied

van VRA. Agrometius levert bodemkaarten en andere diensten die toepasbaar zijn in de uit te voeren R&D en de te ontwikkelen producten en Apps. Bayer CropScience onderzoekt in welke mate VRA kan bijdragen aan verduurzaming van gewasbescherming en wil, indien positief, specifiek VRA onderzoek opstarten. Agrifirm is mede-eigenaar van Akkerweb en heeft de ambitie om taakkaart advies-Apps te ontwikkelen. WR levert wetenschappelijke kennis en onderzoekscapaciteit en is mede-eigenaar van Akkerweb.

De kennisvragen van dit deelproject 3a liggen op het gebied van integratie van sensor-data met decision support systemen (DSS) en techniek (ICT en hardware). Specifieke vragen zijn als volgt geformuleerd. Welke componenten zijn nodig om te komen tot kosten-effectieve VRA van bodempesticiden en meststoffen? Hoe nauwkeurig zijn de beschikbare geo-data? Hoe presteren prototypes van deze technologie? Hoe kan weerinformatie beter gebruikt worden bij de aansturing van VRA-technologie? Welke advies-Apps kunnen ontwikkeld worden met bestaande geo-data en te ontwikkelen DSS? In dit deelproject 3a staat het gebruik van bodem- en gewaskaarten in VRA akkerbouw- en tuinbouw (bloembollen) toepassingen centraal plus de doorvertaling naar Apps. BemestingsApps zijn ondergebracht in deelproject 3d (zie hoofdstuk 4.4). Voor het onderzoek waren twee praktijklocaties beschikbaar; een akkerbouwbedrijf in Abbenes en een bloembollenkweekbedrijf in Andijk.

4.1.3 VRA toepassingen in de akkerbouw

In deze paragraaf worden kort de resultaten met VRA toepassingen in de akkerbouw besproken. Tijdens de groeiseizoenen 2015 tot en met 2018 zijn op het akkerbouwbedrijf in Abbenes een drietal toepassingen getest onder praktijkomstandigheden. Dit betrof variabel doseren van bodemherbiciden in akkerbouwgewassen en stikstof-bijmesten en loofdoden in aardappelen. Ieder jaar werd gewerkt met *state of the art* bodem- of gewaskaarten, beslisregels en toedieningstechniek. Agrometius leverde de bodemkaarten van proefpercelen, WR de beslisregels, Bayer en Agrifirm de middelen en kennis, en Kverneland de toediengingstechnieken. Bodemkaarten toonden variatie in lutm, organische stof en pH. Gewaskaarten kwamen van nearby sensorsystemen of van sensoren aan satellieten en tonen variatie in biomassa aan de hand van parameters als NDVI, WdVI, CI of NDRE. Globaal kwam de toetsing er op neer dat over een breedte van 30 m binnen een gewas de dosering van de gewasbeschermingsmiddelen en stikstof aangepast werd o.b.v. de kaarten en de beslisregels. Voor loofdoding waren dat vrij eenvoudige beslisregels, voor de andere toepassingen waren deze complexer. De onderliggende modellen worden o.a. beschreven in Kempenaar (2018).

De landbouwkundige evaluatie van de drie toepassingen waren als volgt.

- VRA bodemherbiciden: reductie middelgebruik 30% met behoud van goede werking en minder kans op gewasgroeiremming.
- VRA stikstof bijmesten: reductie bijmestgift 20% met behoud goede opbrengst. Rekenregels werden tijdens seizoen bijgesteld o.b.v. deelproject 3d.
- VRA loofdoding: reductie middelgebruik 45% met behoud van goede werking op het loof en rooibaarheid van de knollen.

De %-reductie zijn t.o.v. gangbare praktijk op het bedrijf. Vaak werd ook een baan gangbaar op het perceel aangelegd als referentie. Voorgenoemde resultaten tonen aan dat taakkaarten die via apps op Akkerweb gemaakt worden een bijdrage leveren aan economische en maatschappelijke duurzaamheidscriteria. De resultaten zijn doorgestroomd naar het NPPL project (www.proeftuinprecisielandbouw.nl) en het Groene onderwijs (WURKS modules).

Figuur 4.1-1 geeft een samenvatting van de resultaten van variabel onkruidbestrijden in drie stappen (aanpak, uitvoering en resultaat).

Variabele onkruidbestrijding (1)

Aardappelen; Innovator



- // Met een Verisscanner is het perceel in kaart gebracht
- // De data zijn ingeladen in Akkerweb waar m.b.v. de bodemherbicide app een taakkaart is gemaakt
- // De dosering wordt gevarieerd op basis van het organische stof- en het lutum gehalte
- // De gemiddelde dosering van het onkruidbestrijdingsmiddel (Boxer®) bedroeg 3.0l



Variabele onkruidbestrijding (2)

Aardappelen; Innovator



- // De onkruidbestrijding is met een 40m brede Kverneland spuitmachine uitgevoerd
 - // Er is spuitboombreed gevarieerd d.m.v. het aanpassen van de druk (+/- 10%)
 - // De waterhoeveelheid varieerde tussen 225 en 275 l/ha
- // Logischer wijs zijn ook de mengpartners, linuron en Challenge® variabel verspoten

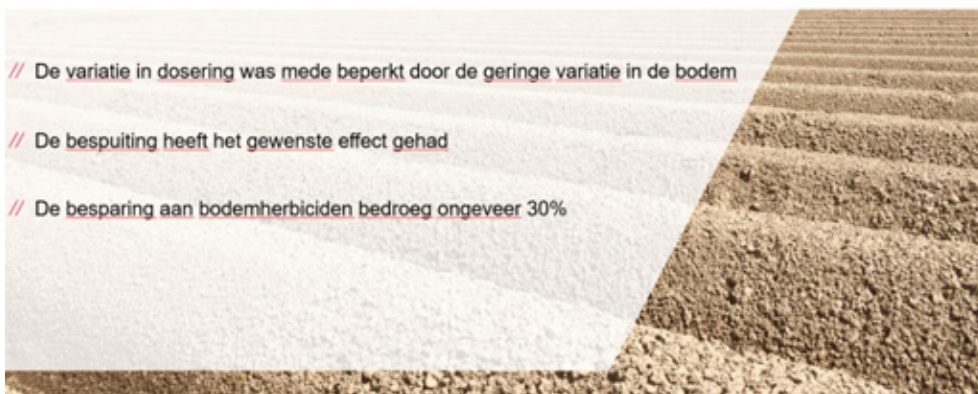


Variabele onkruidbestrijding (3)

Aardappelen; Innovator



- // De variatie in dosering was mede beperkt door de geringe variatie in de bodem
- // De bespuiting heeft het gewenste effect gehad
- // De besparing aan bodemherbiciden bedroeg ongeveer 30%



Figuur 4.1-1 Resultaten van variabel onkruidbestrijden samengevat in drie stappen (aanpak, uitvoering en resultaat). Bron: Presentatie Mekking (2018). Ervaring variabele toepassingen op Bayer Forward Farm. Den Bosch, 12 december 2018, tijdens AgriFoodTech (<https://agrifoodtech.nl/programma/programma-dag-1/#track4>).

4.1.4 VRA toepassingen in bloembollen

4.1.4.1 Doel van het deelproject project bloembollen

Doel van dit deelproject was na te gaan of het mogelijk is gewasbespuitingen te doen in bloembolgewassen tegen ziekten en plagen met een dosering op basis van biomassa van het gewas. Met andere woorden, is het mogelijk bij een kleiner gewas (lees minder biomassa) een lagere dosering toe te passen zonder verlies aan effectiviteit. En daarbij de vraag hoe dan de dosering kan worden bepaald.

4.1.4.2 Aanpak

Blokkenproeven plantverband-dosering-residu-effectiviteit (BCS)

Gedurende drie jaar (periode 2016 – 2018) is per jaar één veldproef uitgevoerd met tulpen. De proeven zijn opgezet als gewarde blokkenproeven waarin met verschillen in biomassa en dosering van gewasbeschermingsmiddelen. De proeven hebben gelegen in Egmond en Heiloo. Met variatie in bolmaat, plantdichtheid en cultivar zijn verschillen gecreëerd in biomassa van het gewas (zie Tabel 4.1-1). In het tweede jaar (2017) is bewust gekozen voor eenzelfde aantal bollen per strekkende meter om zeker te zijn van verschillen in biomassa. Regelmatig is de biomassa gemeten als NDVI met een Greenseeker. In het laatste jaar zijn ook metingen gedaan van de WDVI en NDVI met een Cropscan (multispectral radiometer, www.cropscan.com). Op het moment van de bespuitingen is de lengte van het gewas gemeten.

Tabel 4.1-1 De plantmaten en plantdichtheden per proef.

Bolmaat (zift)	Plantdichtheid (aantal bollen per strekkende meter bed)		
	2016	2017	2018
Tulp 'Jumbo Pink'			
5-6	386	125	294
7-8	206	125	126
9-11	152	125	108
Tulp 'Yellow Flight'			
5-6	400	125	n.v.t.
7-8	225	125	n.v.t.
9-11	176	125	n.v.t.

Over de verschillende niveaus van biomassa zijn verschillende doseringen van een gangbare tankmix fungiciden en insecticiden gespoten. De dosering is een percentage van de praktijkdosering. De toegepaste doseringen zijn weergegeven in de Tabel 4.1-2. Vanaf een gewashoogte van 10-12 cm is negen keer met een wekelijks interval een bespuiting uitgevoerd. De tankmix bestond uit 2 fungiciden en 2 insecticiden. De tankmix is gebaseerd op de gangbare praktijk. De fungiciden waren Rudis (actieve stof prothioconazool) en Shirlan (actieve stof fluazinam). Fluazinam is gekozen als bedekkingsfungicide, daar waar in de praktijk veelal mancozeb wordt gespoten. Omwille van goede residumetingen kon geen mancozeb worden genomen. De insecticiden waren Calypso (actieve stof thiacloprid) en Decis (actieve stof deltamethrin).



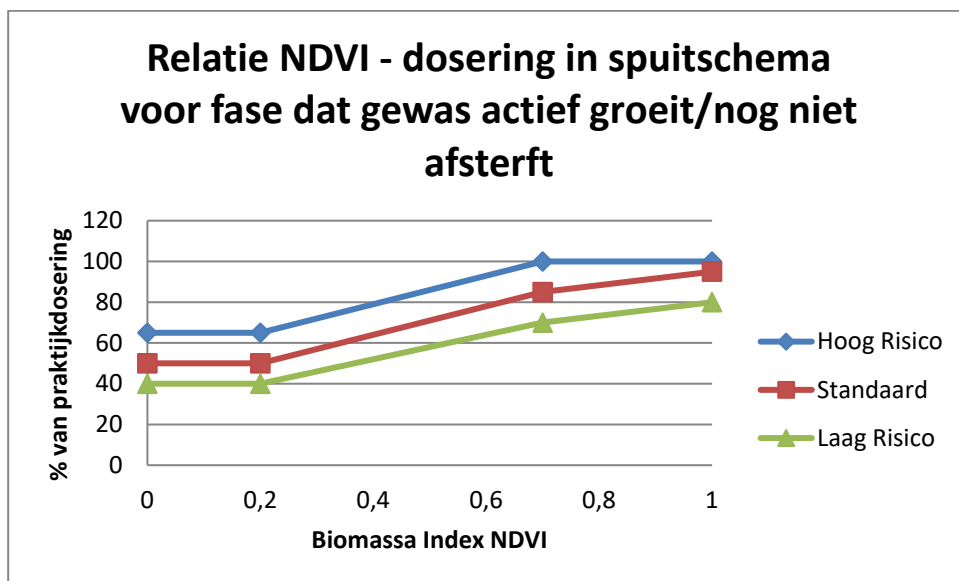
Foto 4.1-1 De proef met tulp 'Jumbo Pink' in 2016.

Tabel 4.1-2 Overzicht van de percentages van de dosering die zijn toegepast in de uitgevoerde proeven.

Behandeling	Dosering (percentage van de praktijkdosering)		
	2016	2017	2018
1	25%	25%	o.b.v. NDVI*
2	50%	50%	o.b.v. NDVI*
3	75%	75%	o.b.v. NDVI*
4	100%	100%	o.b.v. NDVI*

*Op basis van een ijklijn en de ziektedruk is een dosering bepaald (zie toelichting op ijkcurve).

Op basis van de ijklijnen in Figuur 4.1-2 is bepaald welke dosering wordt toegepast. De ijklijnen geven een relatie van de gemeten NDVI en de dosering in het spuitschema voor drie niveaus van ziektedruk. De ziektedruk voor *Botrytis tulipae* in tulp hangt voornamelijk af van temperatuur en vocht.



Figuur 4.1-2 Relatie tussen NDVI en dosering voor drie niveaus van ziektedruk.

Op verschillende momenten zijn gewasmonsters naar Eurofins gestuurd voor analyse van de actieve stoffen die met de tankmix gespoten zijn. Voor Rudis wordt dan niet alleen prothioconazool bepaald maar ook prothioconazool-destio. In de resultaten is altijd het totaal hiervan weergegeven. De effectiviteit is beoordeeld aan de hand van symptomen van Botrytis in het gewas. Een beginnende aantasting uit zich in kleine donkere vlekjes op het blad ('spetters'). Onder voor de schimmel gunstige omstandigheden groeien deze spetters uit tot grote bruine tot grijsgroene vlekken. Ook de bloemen, en na het kappen de bloemstengels, kunnen worden aangetast door Botrytis. Om de ziektedruk te verhogen zijn in de winter gewassnippers van een vuurproef uit het voorgaande jaar over de proefveldjes verspreid.

Praktijkproeven plantverband-residu-effectiviteit

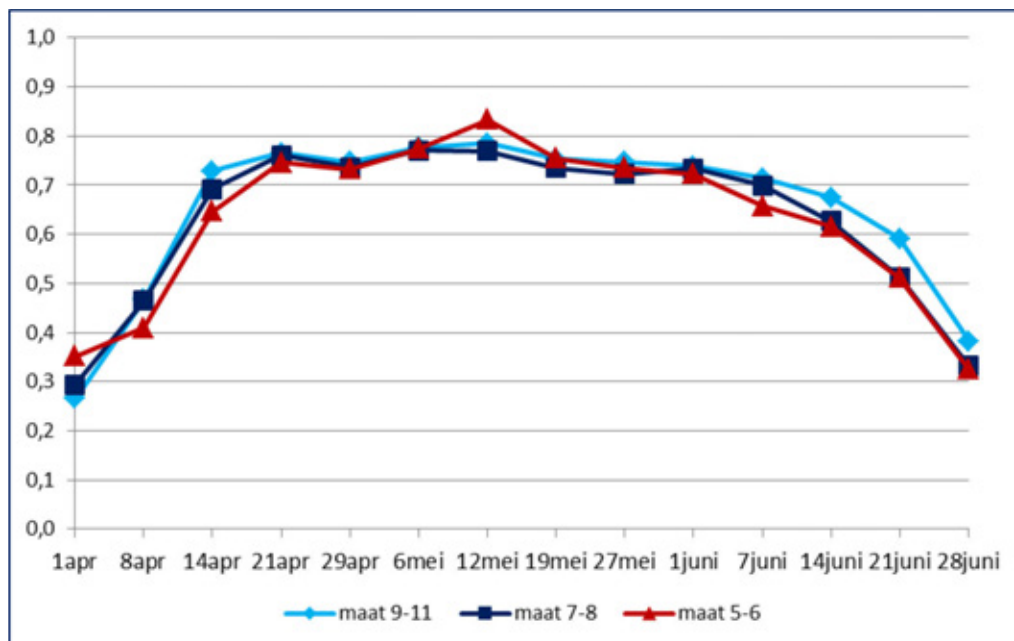
Parallel aan de proeven bij Bayer zijn praktijkproeven gedaan op een bloembollenbedrijf. In verschillende plantmaten is wekelijks de biomassa (NDVI) bepaald met een Greenseeker. De tulpen zijn wekelijks tegen Botrytis gespoten volgens een gangbaar praktijkschema. Op verschillende momenten zijn ook monsters genomen en naar Eurofins gestuurd voor bepaling van residuwaarden van de toegepaste middelen/actieve stoffen.

4.1.4.3 Resultaten en discussie

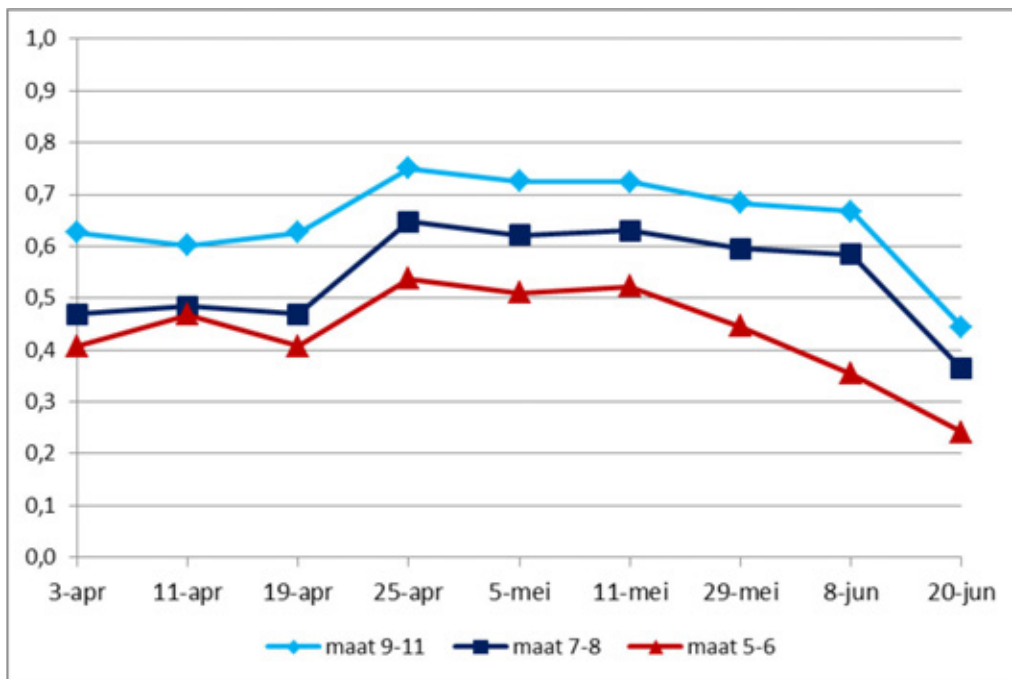
Blokkenproeven plantverband-dosering-residu-effectiviteit (BCS)

Plantverband – biomassa - NDVI

Vanaf de eerste bespuiting bij een gewashoogte van 10-12 cm is in principe wekelijks de NDVI gemeten met een Greenseeker. Tussen verschillende plantmaten is weinig verschil in de NDVI te zien als geplant is volgens een praktijkdichtheid (zie Figuur 4.1-3, Jumbo Pink 2016). In 2017 is daarom voor alle plantmaten hetzelfde aantal bollen geplant. Daarmee zijn verschillen in biomassa verkregen (zie Figuur 4.1-4, Jumbo Pink 2017).



Figuur 4.1-3 In 2016 gemeten NDVI in tulp 'Jumbo Pink' met verschillende plantmaten en plantaantallen per meter.

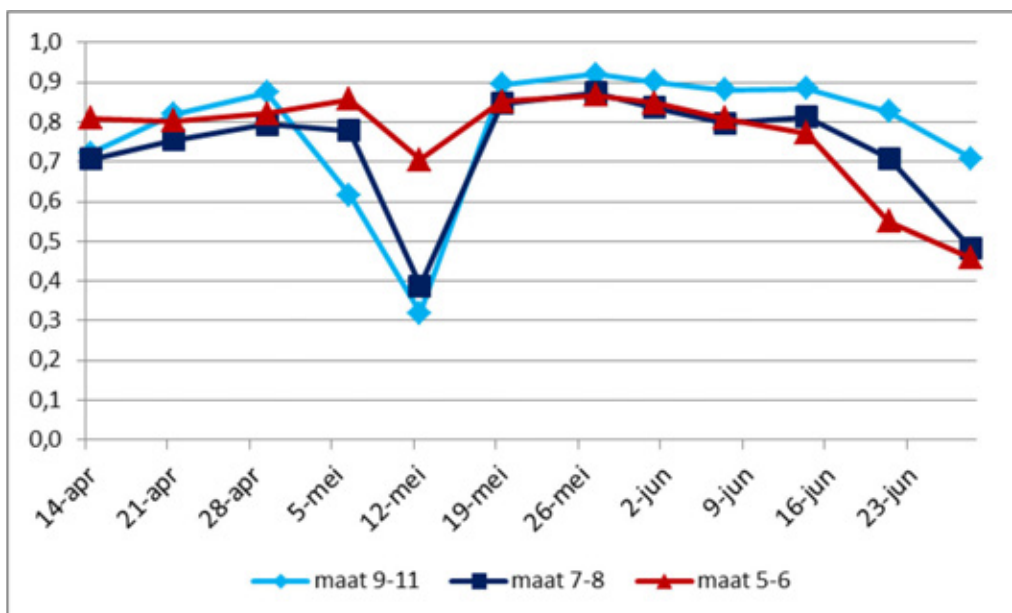


Figuur 4.1-4 In 2017 gemeten NDVI in tulp 'Jumbo Pink' met verschillende plantmaten, maar gelijke plantaantallen per meter.

Kleinere bolmaten geven nog maar nauwelijks een bloem. Dit was in 2016 goed te zien in Yellow Flight (zie foto 4.1-2). Op de voorgrond staat de maat 5-7, daarachter achtereenvolgens 7-8 en 9-11. Tussen 7-8 en 9-11 zit nauwelijks een zichtbaar verschil. NDVI-waardes voor Yellow Flight gingen in de bloeiperiode sterk naar beneden voor de volop gele veldjes (zie Figuur 4.1-5, Yellow Flight 2016). Voor de paars bloeiende Jumbo Pink was soms ook wel een verlaging in NDVI te zien maar die was veel geringer in vergelijking met de gele tulp.



Foto 4.1-2 De proef met tulp 'Yellow Flight' in 2016.



Figuur 4.1-5 In 2016 gemeten NDVI in tulp 'Yellow Flight' met verschillende plantmaten en plantaantallen.

In het eerste jaar (2016) is de NDVI gemeten met de sensor van de Greenseeker dwars op de proefveldjes. Naar later bleek moest de sensor in de lengte gehouden worden. In de twee daarop volgende jaren is dit aangepast. In de metingen is niet zichtbaar geworden dat de sensor in de breedte of in de lengte gemeten heeft.

De tulpen zijn op regels geplant, waardoor, afhankelijk van het tijdstip en de bolmaat, er meer of minder grond zichtbaar is. Er is zo veel mogelijk boven het, altijd droge, gewas gemeten, op een standaard hoogte van 75 cm boven het gewas.

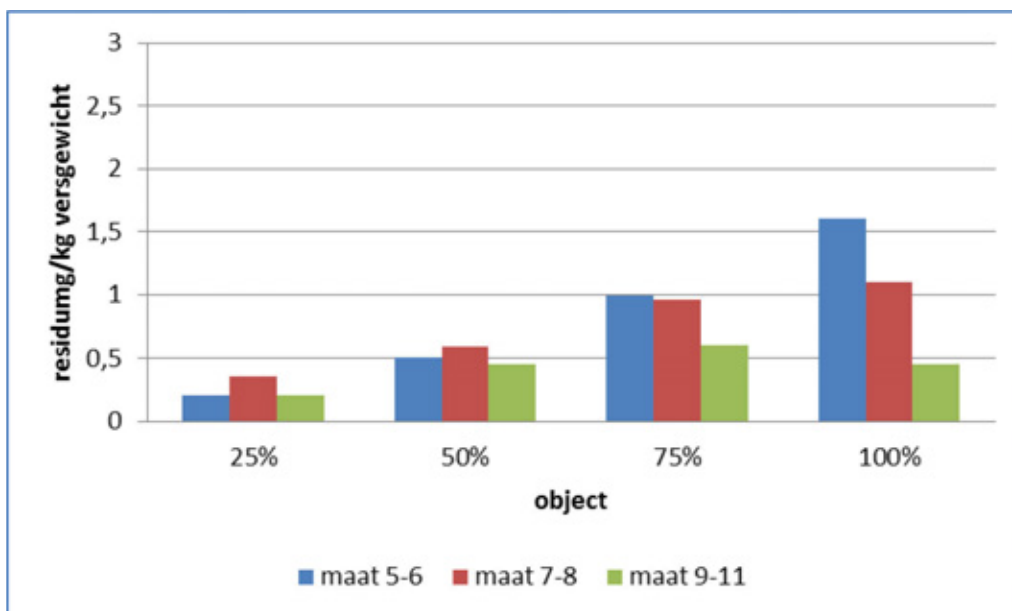
Metingen met de Cropscan tonen aan dat de aan de WDVIGr en NDVI gerelateerde biomassa het hoogst is bij de grootste bolmaat 9-11 (Tabel 4.1-3).

Tabel 4.1-3 Het verloop van de WDVIGr en de NDVI, gemeten met de Cropscan, in 3 verschillende bolmaten tulp 'Jumbo Pink' 2018.

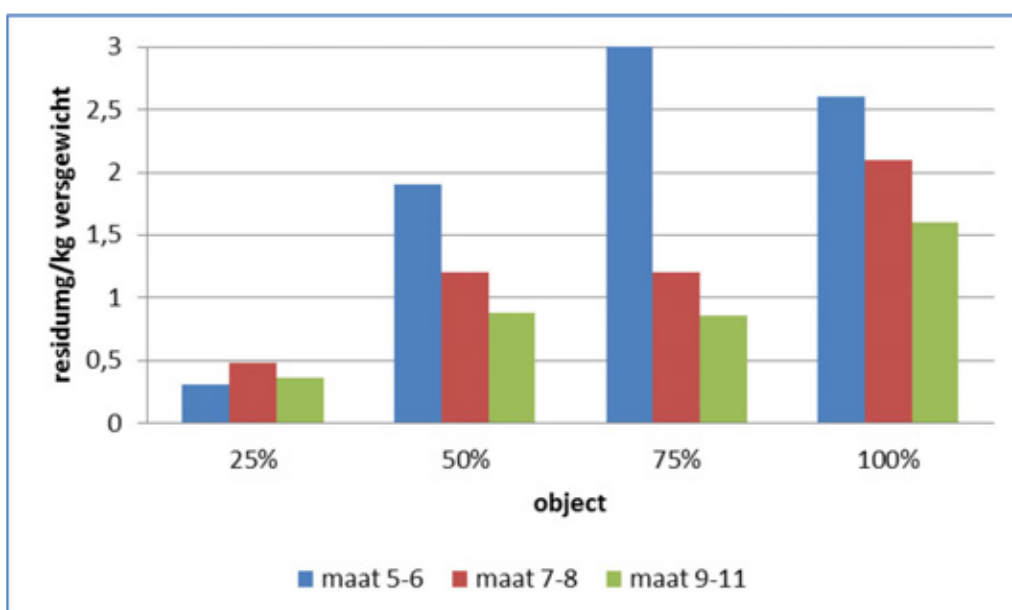
CROPSCAN	WDVIGr				NDVI			
	10-apr-18	23-apr-18	8-mei-18	28-mei-18	10-apr-18	23-apr-18	8-mei-18	28-mei-18
5-6	11	24	26	21	0.44	0.74	0.76	0.74
7-8	9	23	24	19	0.36	0.66	0.75	0.73
9-11	16	35	35	30	0.54	0.68	0.84	0.83
gemiddeld	13	29	30	25	0.47	0.69	0.80	0.78

Dosering – residu - biomassa

Met een hogere dosering komt er meer actieve stof in de plant. Dit zien we goed terug in alle analyses die voor de vier producten zijn gedaan. Naarmate meer bespuitingen zijn gedaan, neemt het residugehalte (concentratie actieve stof in de bovengrondse plant) toe. Dit is duidelijker te zien bij de hogere dan bij de lagere doseringen. De laagste dosering van 25% blijft in de proef van 2016 in beide cultivars achter ten opzichte van de 50 – 75 – 100% dosering. De kleinste bolmaat (minste biomassa) had na verloop van tijd in veel gevallen een hogere residuwaarde dan de grotere maten. Het lijkt er op dat meer biomassa een verdunning van de actieve stof geeft in de plant. In de Figuren 4.1-6 en 4.1-7 is het gehalte thiacloprid (Calypso) weergegeven met de verschillende bolmaten, doseringen en aantal bespuitingen.



Figuur 4.1-6 Gehalte thiacloprid (Calypso) in tulp (bovengronds gewas) na 4 bespuitingen in een verschillend percentage van de praktijkdosering (0.15 l/ha).



Figuur 4.1-7 Gehalte thiacloprid (Calypso) in tulp (bovengronds gewas) na 9 bespuitingen in een verschillend percentage van de praktijkdosering (0.15 l/ha).

In 2018 is het percentage van de dosering bepaald aan de hand van de NDVI waarde op het moment van spuiten. De gegeven doseringen liggen in deze proef veel dichterbij elkaar dan in de proef van 2016 (Tabel 4.1-4). Hierdoor liggen de residuwaarden van de verschillende objecten ook dichterbij elkaar. De residuwaarden in 2018 waren wat grillig, waardoor over de middelen heen geen duidelijk verband is te zien tussen de geplante bolmaat (biomassa), de dosering en het residu. Het lijkt er soms weer op dat minder biomassa hogere residuwaarden geeft (Tabel 4.1-5).

Tabel 4.1-4 De gegeven dosering in 2018 die bepaald is aan de hand van NDVI waarden op het moment van spuiten en de ziektedruk.

week	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	gem
ziektedruk	start	normaal	laag	normaal	hoog	normaal	normaal	normaal	normaal	normaal	
maat 5-6	12,5	57	69	71	93	75	76	75	75	75	68
maat 7-8	25	57	64	64	86	75	71	72	72	71	66
maat 9-11	50	64	74	71	100	83	96	81	81	80	78
maat 9-11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabel 4.1-5 Residuwaarden (mg/kg versgewicht) in 2018 na 7 bespuitingen in tulp 'Jumbo Pink'. De verschillende bolmaten geven een verschil in biomassa (NDVI) waarop de dosering was gebaseerd.

	maat 5-6	maat 7-8	maat 9-11	maat 9-11 (dosering 100%)
deltamethrin (Decis)	0,09	0,08	0,13	0,13
thiacloprid (Calypso)	0,38	0,19	0,33	0,27
prothioconazool (Rudis)	1,27	0,85	0,86	1,14
fluazinam (Shirlan)	4,1	4,2	5,6	7,8

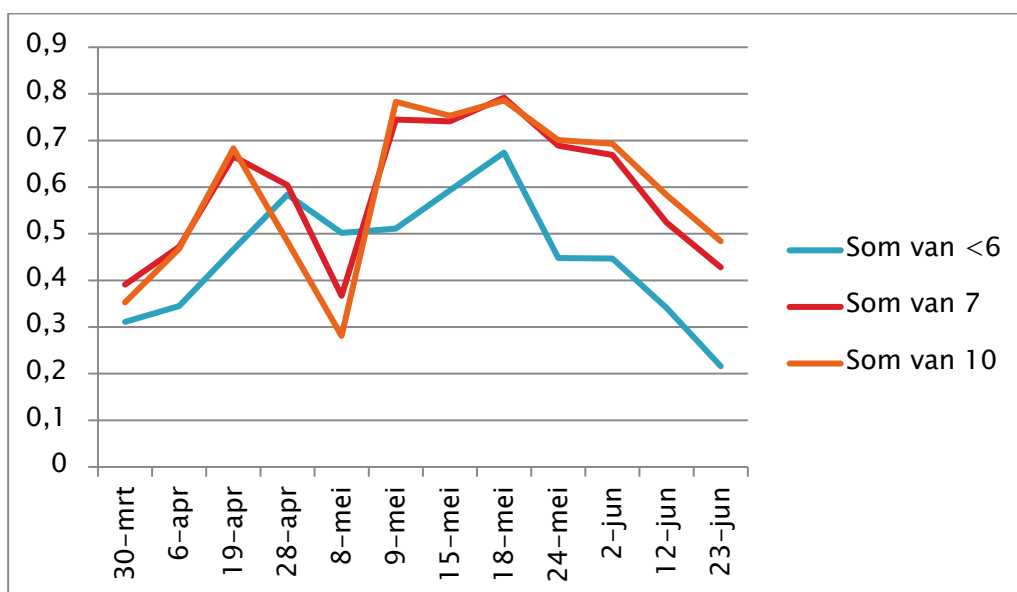
De twee cultivars Jumbo Pink en Yellow Flight tonen hetzelfde beeld in opbouw en verloop van het residugehalte. In het tweede jaar moest door omstandigheden de proef worden stop gezet. Daardoor kon slechts één residumonster worden genomen. Daarmee kan geen conclusie worden getrokken over opbouw van residu en de relatie met de bolmaat en dosering.

Biomassa – residu – effectiviteit

Ondanks het verhogen van ziektedruk en gevoelige cultivars is er maar weinig Botrytis waargenomen. Tussen de verschillende bolmaten/biomassa en doseringen zijn geen verschillen in gewasaantasting gezien. In het tweede jaar moest de proef voortijdig door omstandigheden worden gestopt.

Praktijkproeven plantverband-residu-effectiviteit

De resultaten van de praktijkproeven komen overeen met wat is gezien in de proeven bij Bayer. Metingen met de Greenseeker lieten ook hier zien dat er minder biomassa staat met een kleiner geplante bol (Figuur 4.1-8). Ook het effect van de bloemen op de NDVI is goed te zien. Eind april-begin mei bloeiden de tulpen waardoor de NDVI sterk daalt, terwijl er een vol gewas staat. Op 8 mei zijn de tulpen gekopt en staat er weer een groen gewas.



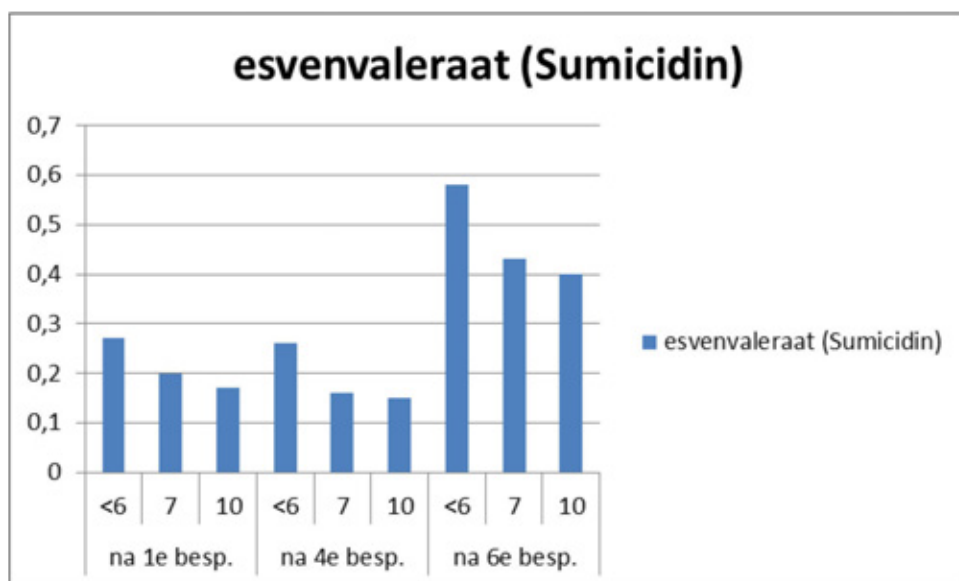
Figuur 4.1-8 Het verloop van de NDVI, gemeten met een Greenseeker, in 3 verschillende bolmaten tulp 'Orange Juice'. Op 8 mei zijn de tulpen gekopt.

Cropscan metingen laten zien dat gedurende het seizoen, zowel de WDVIGr als de NDVI bij de bolmaat <6 lager is dan bij de bolmaten 7 en 10 (Tabel 4.1-6). De aan de WDVIGr en NDVI gerelateerde bovengrondse biomassa (grondbedekking, bladmassa) blijft sterk achter. Dit komt overeen met de metingen van de Greenseeker. Het gemeten NDVI niveau ligt bij de Cropscan wat hoger dan bij de Greenseeker. De uitslagen van de metingen met de Greenseeker zijn wat gevoelig voor de afstand van de meetkop tot het gewas. Er is meer kans op onderschatting of overschatting van grondoppervlak ten opzichte van gewasoppervlak.

Tabel 4.1-6 Het verloop van de WDVIGr en de NDVI, gemeten met de Cropscan, in 3 verschillende bolmaten tulp 'Orange Juice' 2017. Op 8 mei zijn de tulpen gekopt.

	CROPSCAN			NDVI		
maat	30-mrt-17	19-apr-17	18-mei-17	30-mrt-17	19-apr-17	18-mei-17
<6	14	19	16	0.44	0.68	0.73
7	16	28	29	0.50	0.80	0.84
10	16	29	32	0.46	0.82	0.85
gemiddeld	15	26	26	0.47	0.77	0.81

In de residuanalyses is te zien dat met meerdere bespuitingen het gehalte actieve stof toeneemt. En ook dat bij een kleinere bolmaat (minder biomassa) een hogere residuwaarde wordt gevonden (zie Figuur 4.1-9, Sumicidin). Dit stemt overeen met wat in de proeven bij Bayer is gezien.



Figuur 4.1-9 Relatie tussen het aantal bespuitingen met Sumicidin en het gehalte actieve stof bij verschillende bolmaten.

4.1.5 Conclusies

Conclusies

- Meting biomassa: met een Greenseeker kan redelijk goed de biomassa (NDVI) worden bepaald van een tulpengewas. Een groot nadeel is dat de bloei een goede meting in de weg staat. Enigszins afhankelijk van de kleur (van de bloemen) wordt de meting hierdoor sterk beïnvloed.
- Relatie biomassa – dosering – residu: het lijkt er op dat bij minder biomassa, bepaald op basis van NDVI, een lagere dosering kan worden toegepast. Bij de hogere doseringen zijn met minder biomassa relatief hoge residuwaarden gevonden. In het laatste proefjaar is een ca 30% lagere dosering gegeven in de kleinst geplante bolmaat (laagste biomassa). Er zijn wel meerdere bespuitingen nodig voor het verschil tussen de bolmaten (biomassa) tot uiting komt. Als slechts één of enkele bespuiting(en) mag/mogen worden gedaan, is het de vraag of er ook met minder biomassa voldoende actieve stof in het gewas komt.
- Er kan geen conclusie worden getrokken over de residuwaarden en de bescherming tegen Botrytis in deze proeven. Ondanks het verhogen van de ziektedruk is geen noemenswaardige aantasting in het gewas gekomen.
- De resultaten van de praktijkproeven met betrekking tot bolmaat – biomassa – residu komen overeen met de proeven bij Bayer CropScience.

4.1.6 Literatuurlijst

Referenties

Kempenaar, C., Been, Th., Booij, J.A., van Evert, F.K., Michielsen, J.M. & Kocks, C.G. (2018).

Advances in Variable Rate Technology Application in Potato in The Netherlands. Potato Research 60 3-4: pp 295-305. <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9357-4>.

Mekking, R., 2018. Ervaring variabele toepassingen op Bayer Forward Farm. Den Bosch,

12 december 2018, AgriFoodTech. <https://agrifoodtech.nl/programma/programma-dag-1/#track4>.

Deelprojectoutput

Apps op Akkerweb: <https://slideplayer.nl/slide/16959319/>

WURKS Bodemherbicide: <https://slideplayer.nl/slide/16280267/>

4.2 Precisiespuit voor op bedden geteelde bloembollen

Auteurs: Jan van de Zande en Corné Kempenaar

Uitvoerende partijen: Kverneland Group Nieuw-Vennep B.V., Bayer, Agrifirm, Agrometius B.V., Ruiter Bloembollen en Wageningen UR

4.2.1 Samenvatting

Door aanpassing van spuittechniek kan middelgebruik en emissie van de middelen naar het milieu verminderd worden met behoud van goede werking. In dit onderzoek is een ontwerp van een innovatieve spuit voor beddenteelt bloembollen gemaakt op basis van kennis van spuittechniek en kans op emissie. Een prototype van het ontwerp met specifieke configuratie van doppen werd gevalideerd. De resultaten worden beschreven in dit rapport. Aangetoond werd dat depositie op het bed aanzienlijk verbeterd met het voorgestelde ontwerp. Het ontwerp is een basis voor de aanschaf van een nul-serie van de spuittechniek.

4.2.2 Aanleiding

In de bloembollenteelt is gewasbescherming een belangrijk onderdeel van de teelthandelingen. De verschillende bloembol gewassen worden gedurende het groeiseizoen vaak gespoten. Dit stelt afhankelijk van de gebruikte middelen hoge eisen aan de toedieningstechniek en de beperking van de drift. Driftreducerende technieken zijn beschikbaar (TCT, 2019) maar niet altijd optimaal voor gebruik in de bloembollenteelt. Er is daarom de wens speciaal voor de bloembollenteelt een nieuw concept te ontwikkelen voor de toediening van gewasbeschermingsmiddelen

4.2.3 Doel van het project

Doel van het project is speciaal voor de bloembollenteelt een nieuw concept te ontwikkelen voor de toediening van gewasbeschermingsmiddelen. Eerst is geïnventariseerd wat de wensen hiervoor zijn (par 4.2.4.1), vervolgens is een conceptueel ontwerp gemaakt (par 4.2.4.2) en zijn in de Spuithal (WUR) metingen uitgevoerd om de ontwerpeisen voor een goede verdeling te kunnen onderbouwen (par 4.2.4.3) en tot een advies voor implementatie op een veldspuit (par 4.2.5.1) te komen.

4.2.4 Resultaten en discussie

4.2.4.1 Ontwerpeisen

Na verschillende discussies met vertegenwoordigers van telers, gewasbeschermingsmiddelenindustrie, spuitmachine fabrikanten, en bedrijven uit de precisielandbouw sector is tot een wensenpakket gekomen waar de precisie bloembollenspuit toegepast in een tulpen gewas aan zou moeten voldoen. De wensen kunnen opgedeeld worden in de onderdelen: algemeen, gewas waarnemingen, spuitdrift en de dosering van de middelen op het gewas. De genoemde wensen met wat aanvullende opmerkingen betreffende mogelijke oplossingsrichtingen staan hieronder benoemd.

Algemeen

- De hart op hart bedbreedte in tulp is 1.80 m;
 - De buitenkant van het bed wordt met name in de grotere maten dichter geplant. Dit heeft een verwaarloosbaar effect op de hoeveelheid biomassa.
- De gewenste spuitbreedte van de machine is 19-21 bedden (altijd oneven);
- De spuit moet de mogelijkheid van een automatische spuitvolume aanpassing (Variable Rate Application; VRA) bij variatie in de rijsnelheid hebben;
- Op de paden tussen de bedden, op de bedden of volvelds moet apart gedoseerd kunnen worden;
- Voorkeur voor niet alleen recht naar beneden spuiten maar ook schuin van opzij vanaf de rand van de bedden i.v.m. betere depositie op het gewas.

Sensoren

- Vooral nog wordt van een spuitmachine zonder sensoren uitgegaan omdat daar op dit moment nog teveel vraagtekens zijn rond de geschiktheid;
 - De Greenseeker geeft problemen in de bloei (kleurafhankelijk);
 - Geluidssensoren zouden een oplossing kunnen bieden. Daarnaast zijn er gezien het verband tussen hoogte en biomassa wellicht ook mogelijkheden met hoogte sensoren;
 - Wellicht dat de sensoren die bij WEEDit gebruikt worden kunnen dienen om te zien of er “uitgroei” in de paden tussen de bedden heeft plaatsgevonden;
- Taakkaarten kunnen op basis van plantschema’s en hoogte van het gewas worden opgesteld.

Drift

- Om maximale vrijheid in de keuze van middelen te behouden dient aan zo hoog mogelijke driftbeperking te worden voldaan dus minimaal een Drift Reducerende Techniek met 95% driftreductie (DRT95; TCT, 2019).
 - Dit pleit voor een dopafstand boven het bed van 25 cm en een spuitboomhoogte van maximaal 30 cm boven het gewas;
 - De optie van luchtondersteuning is besproken maar dit systeem kent naast voordelen ook de nodige nadelen (o.a. windgevoeligheid en instelling luchthoeveelheid);
 - Een sleepdoek systeem wordt in de tulpen als onwenselijk gezien o.a. i.v.m. het risico van ziekten verspreiding.

Dosering/afgifte

- Er wordt uitgegaan van een maximale spuihoeveelheid van 400 L/ha (bij 7 km/uur);
- Er moet in gevarieerd kunnen worden tussen 50% en 100% van de dosering, waarbij 100% de (advies)dosering is die normaal gesproken bij 100% biomassa wordt toegepast;
- Bij de keuze van het doptype dient, naast de driftbeperkende klasse (DRD; TCT, 2019), rekening te worden gehouden met een zo’n optimaal mogelijke gewasbedekking.

Voor de optimalisatie van de vloeistofverdeling op het bed met het gewas tulpen is verder laboratoriumonderzoek uitgevoerd en zijn modelberekeningen uitgevoerd om tot een homogene verdeling op het bed te komen.

4.2.4.2 Ontwerp studie

Om tot een eerste functioneel concept van precisie bespuiting op bloembollen bedden te komen is een ontwerpstudie opgezet. Een eerste opzet is gemaakt met 25 cm dopafstand op de spuitboom om te proberen op het bed van 1,50 m breed een goede verdeling te realiseren met spuitdoppen die geschikt lijken en voorhanden waren. Na bespreking hiervan met belanghebbenden werd de wens uitgesproken een soortgelijke studie te doen voor 30 cm dopafstand op de spuitboom om tot een definitieve spuitboom ontwerp te komen voor een veldspuit voor 1,50 m brede bedden en 30 cm paden daartussen, dus een totale hart op hart afstand van midden van de paden van 1,80 m. De resultaten van deze laatste exercitie worden hier besproken

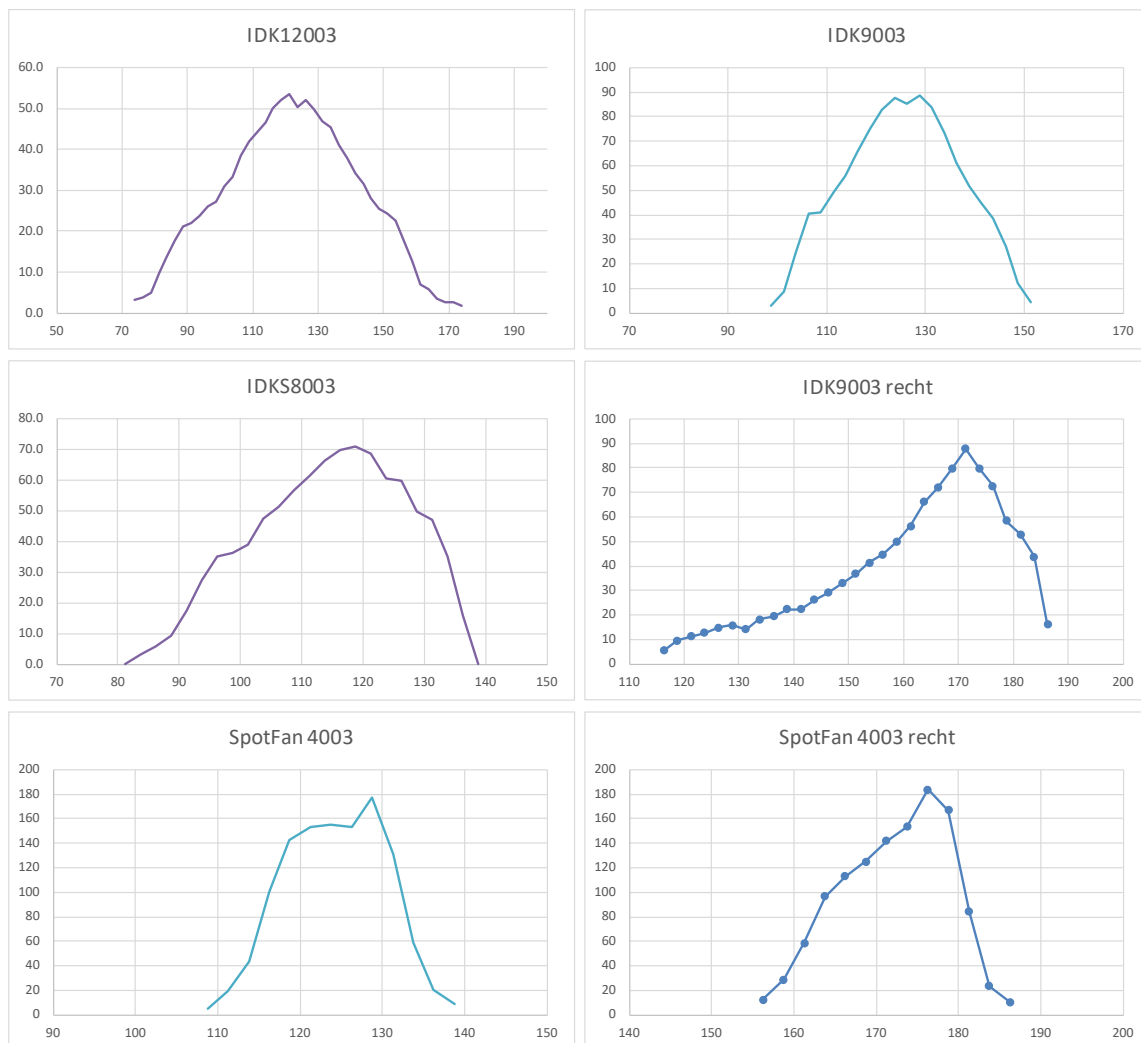
4.2.4.3 Ontwerp spuitboom - 30 cm dopafstand

Doel van deze ontwerpstudie is laten zien hoe van een 30 cm dopafstand op de spuitboom de dwarsverdeling van de spuitvloeistof er in de praktijk uit kan zien op het bloembollen bed en in de paden tussen de bedden. De bloembollen bedden hebben een 180 cm hoh breedte met een 150 cm netto bed met daarop 135 cm effectief gewas geplant. Het gewas stoelt uit tot de totale breedte van het bed (150 cm) en bij hoge gewas soorten ook tot in het pad. In het pad is nooit meer dan helft van het oppervlak bedekt met gewas. De afgifte in het pad kan eventueel bij gestuurd worden met een PWM-dop boven het pad door de afgifte op bv 50% van de maximale hoeveelheid in te stellen.

Voor deze ontwerpstudie zijn de spuitdoppen IDK12003, IDK9003 en IDKS8003 van Lechler en de Agrotop SpotFan 4003 op het spuitbord (ISO5862-1) gemeten bij een druk van 3 bar. Van deze doppen zijn enkeldops metingen gedaan om de dwarsverdeling bij 30 cm spuitboomhoogte vast te stellen. De IDKS8003 en SpotFan 4003 zijn niet alleen recht naar beneden spuitend gemeten maar zijn ook onder een hoek geplaatst gemeten zodanig dat één zijde van de spuitkegel recht naar beneden spoot. Met deze beide doppen in deze hoekverdraaiing kan een scherpe scheiding

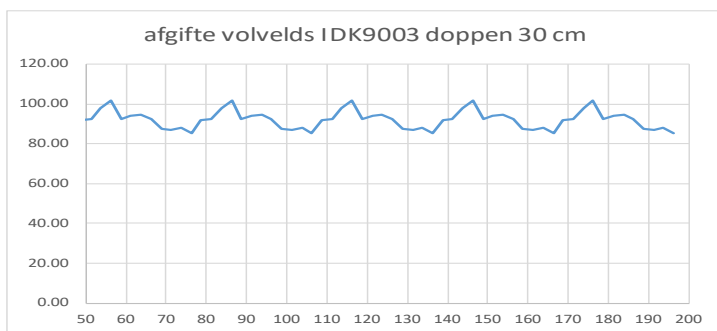
bewerkstelligd worden die scherper is dan van de normaal gebruikte kantdoppen (zoals de IDKS8003). Dit is vooral van belang om te kijken of een scherpe afscheiding tussen rand van bed bespuiting en niet in het pad tussen de bedden spuiten mogelijk is.

De individuele spuitbeelden van de gebruikte dooptypen staan in Figuur 4.2-1.



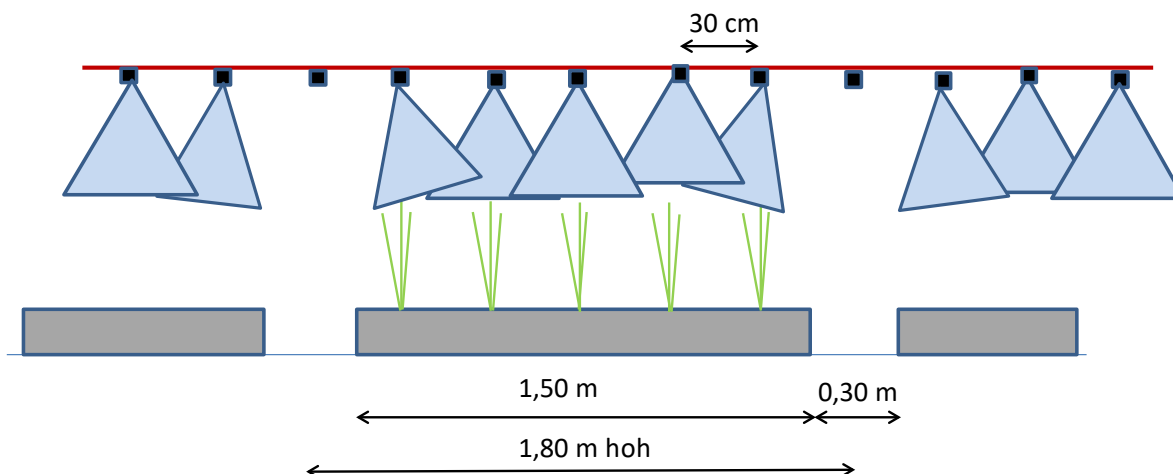
Figuur 4.2-1 Dwarsverdeling (mL/min) van verschillende spuitdoppen gebruikt in deze ontwerpstudie bij een spuitdophoogte van 30 cm en een druk van 3,0 bar (gem 3 herh.).

Bij een volveldsbespuiting met IDK9003 doppen en een dopafstand van 30 cm en een 30 cm dophoogte is het samengestelde spuitbeeld zoals aangegeven in Figuur 4.2-2. De gemiddelde afgifte is 92 mL/min met een variatiecoëfficiënt van de dwarsverdeling van 5,0%. Voor spuiten in gebruik geldt een eis aan de dwarsverdeling bij volvelds spuiten dat de VC lager is dan 9% en bij nieuwe spuiten is dit 7% (resp. ISO16122 en ISO 16119).



Figuur 4.2-2 Dwarsverdeling (mL/min) bij volveldsbespuiting met IDK9003 doppen op 30 cm dopafstand en 30 cm spuitboomhoogte.

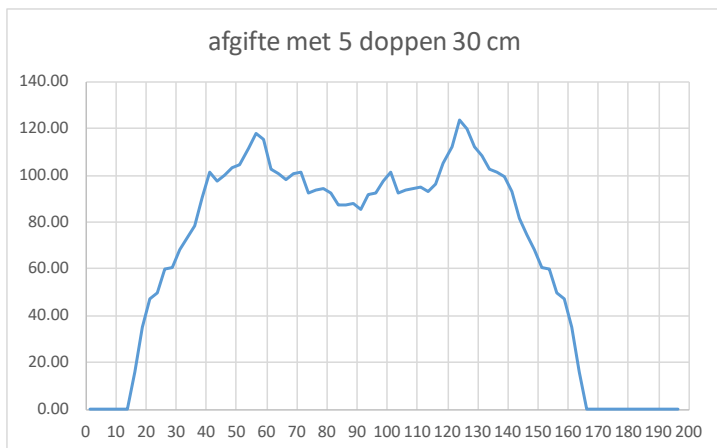
Het streven is een soortgelijke homogeniteit van de verdeling op het bed te realiseren als bij de volveldsbespuiting met minimale bespuiting van de paden tussen de bedden. De bedden zijn 150 cm breed en de paden ertussen 30 cm zodat de hart op hart afstand van het midden van de paden 180 cm is (Figuur 4.2-3). Een eerste opzet is gemaakt met één dop precies boven het midden van de paden en de andere doppen om de 30 cm verdeeld over het bed (5 doppen). Op de rand van het bed kan voor de scherpe afscherming van de bespuiting een kantdop (IDKS8003) of een scheef opgestelde spuitdop (IDKS9003, Spotfan 4003) gebruikt worden.



Figuur 4.2-3 Schematische voorstelling van ontwerp van beddenspuit functionaliteit op een veldspuit.

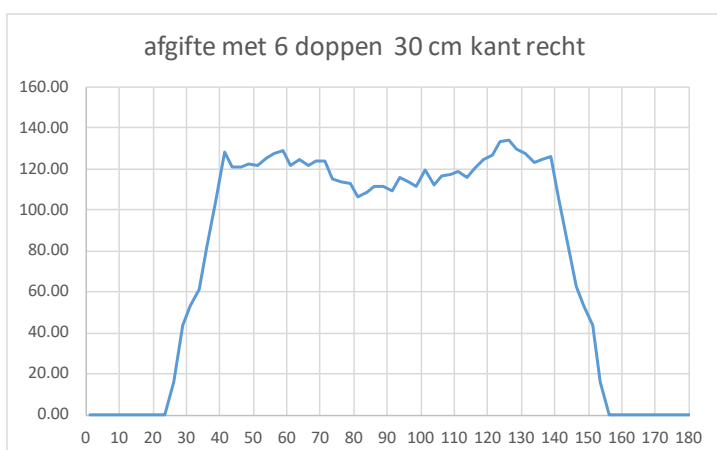
Van deze combinatie van mogelijkheden zijn de spuitvloeistofverdelingen berekend door de gemeten individuele spuitbeelden van de individuele doppen over elkaar heen te leggen op de verschillende dopafstanden van elkaar (30 cm).

De dwarsverdeling van de IDK9003 doppen met aan weerszijden van het bed een IDKS8003 kantdop is gegeven in Figuur 4.2-4. De afscherming van de rand van het bed is niet erg scherp, bovendien wordt de rand van het bed aan weerszijden maar net geraakt met onvoldoende depositie voor een goede werking van de bespoten middelen. De breedte op het bed met een depositie hoger dan 100 ml/min is maar 90 cm en de breedte met een depositie hoger dan 20 ml/min is 147 cm. De gemiddelde depositie op het bed is 97 mL/min met een VC van 12.7%.



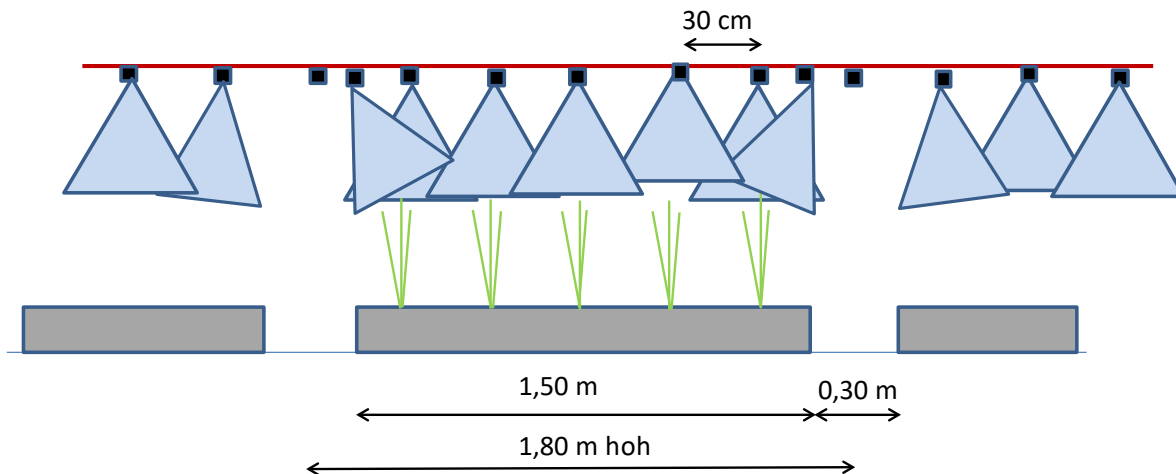
Figuur 4.2-4 Dwarsverdeling (mL/min) van beddenspuit met 3 IDK9003 doppen en IDKS8003 kantdoppen aan de rand van het bed (dopafstand 30 cm).

Een verbetering kan zijn de IDK9003 te verdraaien en als kantdop te gebruiken. Het effect daarvan op de dwarsverdeling is in Figuur 4.2-5 gegeven. Hiermee wordt de afscherming sterk verbeterd. De bespoten breedte op het bed met voldoende dosering is echter nog steeds maar 105 cm breed en de breedte met >20 mL/min is slechts 125 cm wat aangeeft dat de gehele bedbreedte nog niet bespoten wordt. De gemiddelde depositie op het bed is 113 mL/min met een VC van 17.5%.

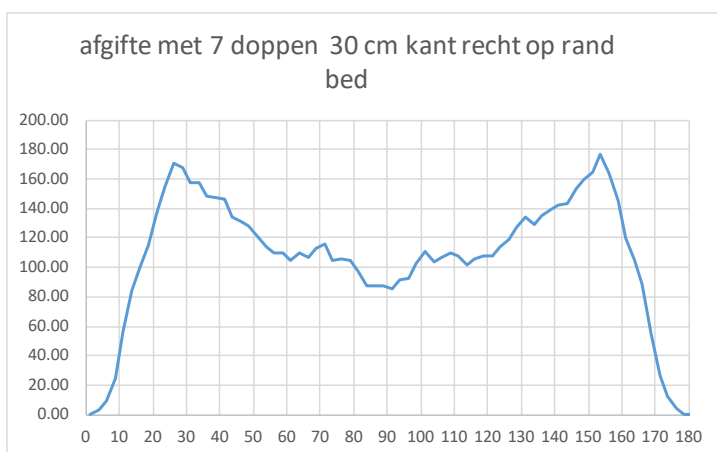


Figuur 4.2-5 Dwarsverdeling (mL/min) van beddenspuit met 3 IDK9003 doppen en IDKS8003 kantdoppen aan de rand van het bed (dopafstand 30 cm).

Om een betere afscherming van de randen van het bed te krijgen en een breder oppervlak te bespuiten kan een extra dop precies boven de rand van het bed geplaatst worden (Figuur 4.2-6). De spuitkegel van die randdop moet dan aan de kant van het pad recht naar beneden spuiten, hiervoor kan een 45° gekantelde IDK9003 gebruikt worden. Het effect hiervan op de dwarsverdeling is in Figuur 4.2-7 aangegeven.



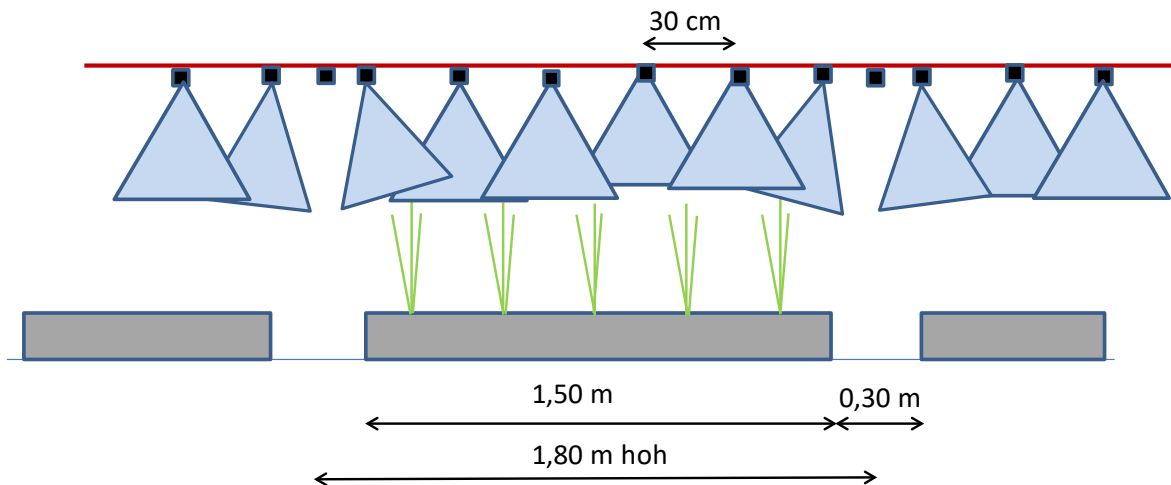
Figuur 4.2-6 Schematische voorstelling van ontwerp van beddenspuit op een veldspuit met 5 doppen op 30 cm afstand boven een 150 cm breed bed en een extra dop boven de rand van de bedden.



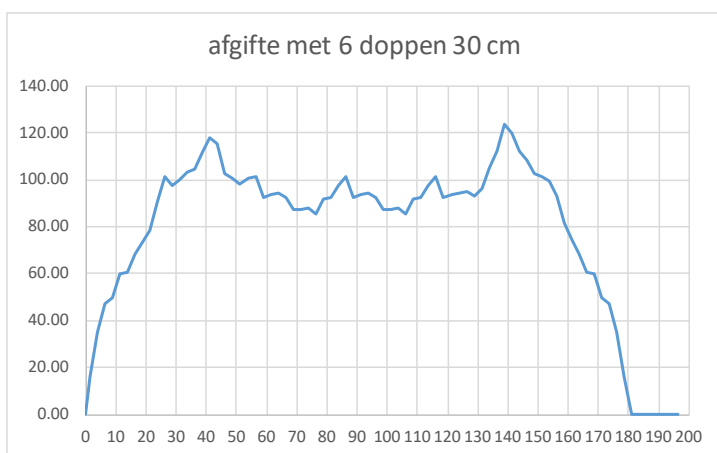
Figuur 4.2-7 Dwarsverdeling (mL/min) van beddenspuit met 5 IDK9003 doppen (dopafstand 30 cm) boven het bed en 45° gekantelde IDK9003 doppen boven de rand van het bed.

De bespoten breedte op het bed met voldoende dosering is nu 145 cm breed en de breedte met >20 mL/min is nu 165 cm wat aangeeft dat de gehele bedbreedte bespoten wordt. De gemiddelde depositie op het bed is 123 mL/min met een VC van 19.6%. Er is echter een duidelijk hogere depositie op de randen van het bed.

Een mogelijk ander ontwerp kan zijn door uit te gaan van 6 doppen op 30 cm dopafstand precies boven het bed van 150 cm en een extra dop boven de paden te plaatsen voor specifieke pad bespuitingen (Figuur 4.2-8). Bij volveldsbespuitingen is deze dop afgesloten en ontstaat het spuitbeeld van Figuur 4.2-2.



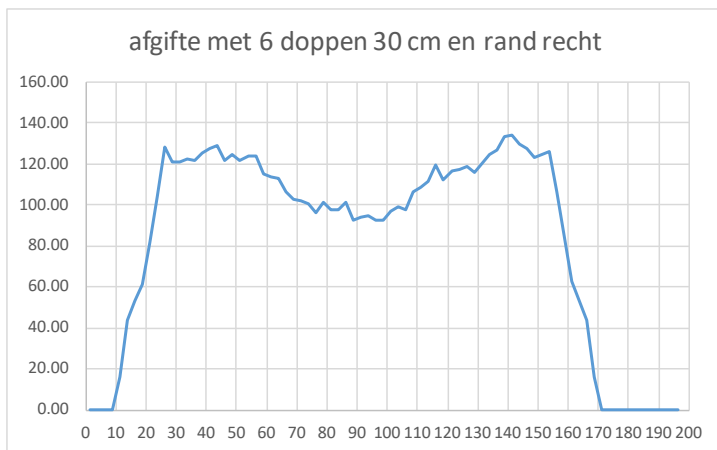
Figuur 4.2-8 Schematische voorstelling van ontwerp van beddenspuit op een veldspuit met 6 doppen op 30 cm afstand boven een 150 cm breed bed en een extra dop boven de paden tussen de bedden.



Figuur 4.2-9 Dwarsverdeling (mL/min) van beddenspuit met 4 IDK9003 doppen (dopafstand 30 cm) boven het bed en IDKS8003 doppen aan de rand van het bed.

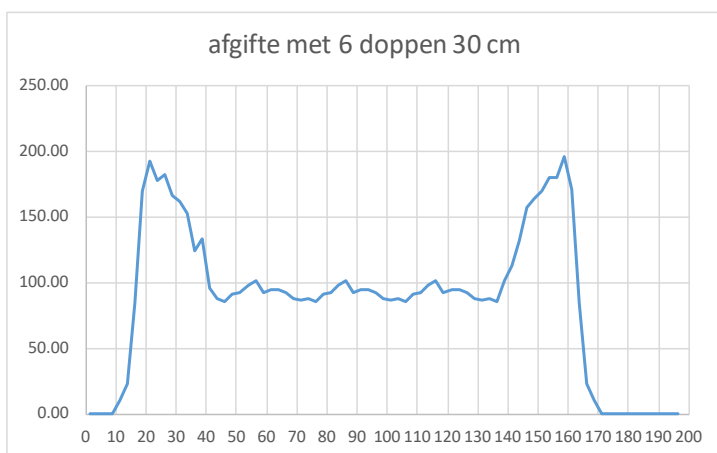
De bespoten breedte op het bed (Figuur 4.2-9) met voldoende dosering is nu 130 cm breed en de breedte met >20 mL/min is nu 170 cm wat aangeeft dat de gehele bedbreedte en meer dan de helft van het pad bespoten wordt. De gemiddelde depositie op het bed is 96 mL/min met een VC van 11.8%.

Om ook bij dit ontwerp de bespuiting van de rand van het bed te verbeteren met een minimale depositie in het pad tussen de bedden is de kantdop boven het bed vervangen door een 45° gekantelde IDK9003. Het samengestelde spuitbeeld hiervan is in Fig.4.2-10 weergegeven. De bespoten breedte op het bed met voldoende dosering is nu 138 cm breed en de breedte met >20 mL/min is nu 155 cm wat aangeeft dat de gehele bedbreedte bespoten wordt en bijna geen depositie in de paden tussen de bedden. De gemiddelde depositie op het bed is 109 mL/min met een VC van 17.5%.



Figuur 4.2-10 Dwarsverdeling (mL/min) van beddenspuit met 4 IDK9003 doppen (dopafstand 30 cm) boven het bed en 45° gekantelde IDK9003 doppen aan de rand van het bed.

Een andere optie is nog om een gekantelde spuitdop met een smalle tophoek als randdop te gebruiken. Een voorbeeld hiervan is de SpotFan 4003 (Figuur 4.2-1). Wordt deze dop geplaatst in plaats van de gekantelde IDK9003 dan ontstaat het spuitbeeld zoals in Figuur 4.2-11 aangegeven. De bespoten breedte op het bed met voldoende dosering is nu 138 cm breed en de breedte met >20 mL/min is nu 155 cm wat aangeeft dat de gehele bedbreedte bespoten wordt en bijna geen depositie in de paden tussen de bedden. De gemiddelde depositie op het bed is 113 mL/min met een VC van 31%. Duidelijk is dat deze optie wel werkt voor de afscherming langs de rand van het bed maar heel hoge pieken in depositie geeft aan beide randen van het bed. Deze pieken kunnen verlaagd worden door de PWM-instelling van de doppen op de rand van het bed apart aan te sturen op een lagere afgifte, bv. 50% van de nominale afgifte.



Figuur 4.2-11 Dwarsverdeling (mL/min) van beddenspuit met 4 IDK9003 doppen (dopafstand 30 cm) boven het bed en 45° gekantelde SpotFan 4003 doppen aan de rand van het bed.

4.2.4.4 Conclusie

Met een dopafstand van 30 cm op de spuitboom is door de doppen boven het bed te positioneren met een extra dop boven het pad tussen de bedden een goede dwarsverdeling van de spuitvloeistof boven de bedbreedte van 150 cm te realiseren. De beste optie lijkt die met de IDK9003 in de 4 doppen boven het bed en twee 45° gekantelde IDK9003 doppen recht boven de rand van het bed (Figuur 4.2-8 en Figuur 4.2-10).

4.2.5 Eindontwerp en conclusies

4.2.5.1 Beste optie vanuit de studie

Voor de ontwikkeling van een precisie spuit voor op bedden geteelde bloembollen is het mogelijk op grond van metingen in het laboratorium en modelberekeningen een concept te ontwikkelen. Voor bloembollen geteeld op 1,80 m bedden (hart op hart) met een netto bed breedte van 1,50 m en daartussen paden van 0,30 m kwam eruit dat een ontwerp van de spuitboom kan zijn waarbij 6 doppen op 30 cm dopafstand precies boven het bed van 150 cm staan met een extra dophouder midden boven de paden voor specifieke pad bespuitingen (Figuur 8). Bij volveldsbespuitingen is deze dop boven de paden afgesloten en ontstaat het spuitbeeld van Figuur 2.

Om bij dit ontwerp de bespuiting van de rand van het bed te verbeteren met een minimale depositie in het pad tussen de bedden is in de dophouder boven de rand van het bed de IDK9003 dop 45° gekanteld. Het samengestelde spuitbeeld hiervan is in Fig.10 weergegeven. De bespoten breedte op het bed met voldoende dosering is nu 138 cm breed en de breedte met >20 mL/min is nu 155 cm wat aangeeft dat de gehele bedbreedte bespoten wordt en er bijna geen depositie in de paden tussen de bedden is. De gemiddelde depositie op het bed is 109 mL/min met een VC van 17.5%.

4.2.5.2 Conclusie

Bij bespuitingen van 1,80 m (hoh) beddenteelt van bloembollen kan een goede dwarsverdeling van de spuitvloeistof boven de breedte van het bed van 150 cm gerealiseerd worden. Dit kan met een dopafstand van 30 cm op de spuitboom en door de spuitdoppen boven het bed te positioneren met een extra doppositie midden boven het pad. De beste optie lijkt die met de IDK9003 spuitdoppen met daarbij vier doppen boven het bed en twee 45° gekantelde IDK9003 doppen recht boven de rand van het bed.

4.2.6 Literatuurlijst

TCT, 2019. Lijst met drift reducerende technieken (DRT-lijst).

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/>

ISO 5682-1, 2017. Equipment for crop protection -- Spraying equipment -- Part 1: Test methods for sprayer nozzles. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO16119, 2013. Agricultural and forestry machinery -- Environmental requirements for sprayers -- Part 2: Horizontal boom sprayers. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO16122, 2015. Agricultural and forestry machinery -- Inspection of sprayers in use -- Part 2: Horizontal boom sprayers. International Organization for Standardization, Geneva.

4.3 Sensor gestuurde gras- en maisteelt; opbrengstvoorspelling

Auteurs: Idse Hoving, Johan van Riel, Gertjan Holshof en Koen van Boheemen
Uitvoerende partijen: ZLTO, Agrifirm Plant B.V., Kverneland Group Nieuw-Vennep B.V. en Wageningen UR

4.3.1 Samenvatting

Een goede inschatting van de actuele grasopbrengst is essentieel voor graslandplanning. Om te zien in hoeverre met remote sensing grasopbrengst en stikstofgehalte gemeten kan worden, zijn in een veldproef reflectiemetingen vergeleken met de opbrengsten en het stikstofgehalte van gemaaid gras. Deze opbrengsten en gehalten zijn tevens gebruikt voor validatie van een modelmatige schatting van de grasopbrengst en het ruw eiwitgehalte. Als praktische referentie is ook een vergelijk gemaakt met grashoogtemetingen. Reflectiemetingen gaven een ruwe schatting van de droge stofopbrengst. Door onderscheid te maken in locatie/grondsoort en door basale groeidata mee te nemen verbeterde de schatting aanzienlijk. Een modelmatige groeivoorspelling gaf een betere schatting van de drogestofopbrengst en verbeterde in combinatie met reflectiemetingen of grashoogte. Het stikstofgehalte blijkt vooralsnog lastig te meten en te voorspellen.

Voor een uitgebreidere beschrijving van het onderzoek zie Hoving *et al.* (2019).

4.3.2 Aanleiding

Het gebruik van multispectrale camera's voor het op afstand meten van biomassa en gewassenmerken (remote sensing) is al decennialang in ontwikkeling en krijgt steeds meer toepassing in de praktijk. De camera's worden kwalitatief beter en kunnen in steeds meer banden of golflengtes reflecties meten. Dit maakt het mogelijk specifiekere indexen te berekenen die een nauwer verband hebben met biomassa. Ook kunnen mogelijk relaties gelegd worden met voederwaardekenmerken of inhoudsstoffen. Voor grasland zou remote sensing een mooi alternatief kunnen betekenen voor de grashoogtemeter. Dit bespaart tijd en brengt de variatie binnen percelen veel beter in beeld. De vraag is in hoeverre het gebruik van multispectrale beelden geschikt is om grasopbrengst of het N-gehalte van gras te bepalen. Voor gras waren tot op heden geen ijklijnen beschikbaar die het verband weergeven tussen lichtreflectie en de actuele opbrengst in kg droge stof per ha. Het werkpakket 3c richtte zich op de ontwikkeling van kennis om met real-time data van sensoren en decision support (o.a. gewasgroeimodellen) te komen tot nauwkeurige opbrengstvoorspelling van grasland. De kennisvraag van dit deelproject was hoe de gewasopbrengst van een graslandperceel het beste geschat en ruimtelijk verdeeld binnen het perceel in kaart gebracht kan worden.

In het onderstaande worden enkele specifieke vragen genoemd:

- Welke remote en nearby sensorsystemen kunnen gebruikt worden om de fysieke opbrengst te schatten?
- En hoe kan daarbij de kwaliteit van het gras on line gemonitord en in kaart gebracht worden?
- Welke koppeling van sensoren met oogstmachines is mogelijk?
- Hoe kan de kennis vervat worden in Apps?
- Wat is de nauwkeurigheid en meerwaarde van de opgeleverde Apps onder praktijkomstandigheden?

In 2015 is gestart met een verkenning door gebruik te maken van dronebeelden en in 2016 en 2017 is een maaiproef uitgevoerd om de gewenste ijklijnen te kunnen vaststellen. Deze maaiproef is uitgevoerd en gefinancierd vanuit PL2.0 en de pps Amazing Grazing. In Amazing Grazing lag de nadruk op het toetsen van de modelmatige schatting van grasgroei ten behoeve van groeivoorspelling. Hiertoe is een prototype webapplicatie ontwikkeld en daarmee kan invulling gegeven worden aan decision support.

4.3.3 Doel van het project

Het komen tot een nauwkeurige opbrengstvoorspelling voor grasland op basis van real-time data (sensoren) en decision support (modellen).

4.3.4 Aanpak

4.3.4.1 Veldexperiment op klei-, zand en veengrond

Op de proefbedrijven Vredepeel (zand), Dairy Campus (klei) en KTC Zegveld (veen) is in 2016 tot en met 2018 een maaiproef uitgevoerd met drie stikstofbemestingsniveaus en vier maaitijdstippen binnen een snede. De modelmatige groeivoorspelling en het meten van grasopbrengst met reflectiemetingen is getoetst aan de gemaaide (werkelijke) grasopbrengsten. De drie locaties verschillen voor wat betreft de grondsoort, weersituatie, de beschikbaarheid van bodemvocht en de stikstoflevering door de bodem. De variatie in stikstofbemesting is gebruikt om te zien hoe het groeimodel reageert op de beschikbaarheid van stikstof als groeifactor. De groeitrappen zijn aangelegd om bij eind oogst van de snede over een brede range aan opbrengstverschillen te beschikken voor toetsing van de reflectiemetingen. Als referentie voor de reflectiemetingen is een gekalibreerd handheld apparaat gebruikt dat ontwikkeld is voor onderzoeksdoeleinden (MSR CropScan). Daarnaast zijn dronebeelden (eBee met een Multispec4C camera van dronewerker Christel Thijssen) en verschillende satellietbeelden gebruikt.

Samengevat waren de behandelingen als volgt:

Hoofdbehandeling Locatie (grondsoort):

1. Dairy Campus (klei)
2. Vredepeel (zand)
3. KTC Zegveld (veen)

Subbehandeling Stikstofbemesting

1. N0 (onbemest)
2. N1 (matige N gift)
3. N2 (ruime N-gift)

Subbehandeling Groeiduur

1. T1 (oogst bij ongeveer 500 kg ds.ha⁻¹ of een gewas lengte van ongeveer 9 cm)
2. T2 (oogst een week na T1)
3. T3 (oogst een week na T2)
4. T4 (oogst een week na T3. Op dit tijdstip werden ook de T1-T3 veldjes geoogst)

Uitgangsproof voor de maaiproef was het creëren van een variatie in opbrengst en tijd. Om dit te bereiken werd vier opbrengstbepalingen binnen een snede uitgevoerd (T1 t/m T4). Per stikstofbemestingstrap en per tijdstip (T) werden afzonderlijke veldjes aangelegd. Om een gelijk uitgangspunt te hebben voor de volgende snede werden op het laatste maaitijdstip van een snede de T4 veldjes gemaaid, maar ook de overige veldjes van T1-T3. In Tabel 4.3-1 staat schematisch het tijdschema voor maaien per snede in de tijd.

Tabel 4.3-1 Tijdschema maaien (schematisch).

Snede/week	1	2	3	4	5	6	7	8
Snede 1	T1	T2	T3	T1 – T4				
Snede 2					T1	T2	T3	T1 – T4
Etc.								

Door de gecombineerde uitvoering (groeiverloop en opbrengstvariatie) was een compact proefveld mogelijk. De oneven tijdstippen (T1-T3) werden gebruikt voor het bepalen van het groeiverloop van gras (tijdreeks) en de even tijdstippen (T4) werden gebruikt voor het meten van opbrengst in verschillende groeistadia op één tijdstip (opbrengstreeks).

Voor metingen met satellieten en drones (multispectrale camera), waren de afzonderlijke veldjes voor proefveldbegrippen relatief groot. Ondanks dat bleek het lastig meetgrids binnen de netto oppervlakte te laten vallen. Per proeflocatie was vanwege de beschikbare ruimte de omvang van de veldjes verschillend. De netto oppervlakte was op KTC Zegveld 16 x 20 m, op proefbedrijf Vredepeel 12 x 24 m en op Dairy campus 20 x 20 m.

Op het T4 moment werd een dag voor de oogst de lichtreflectie gemeten met een gekalibreerde CropScan Multispectral Radiometer (Cropscan, 2016; MSR87, MSR16R). De klei- (2016-2017) en veenlocatie (2017) werden gemeten in 16 banden tussen 460 - 1080 nm. De zandlocatie werd gemeten in 8 banden tussen 460 en 810 nm, waarbij 5 banden overeenkwamen met de Cropscan met 16 banden. Daarom was het verschil in apparatuur geen beperking van de gegevensanalyse. De reflectie bij 560 nm, 660 - 670 nm of 710-720 nm werd gecombineerd met de reflectie bij 810 nm met behulp van verschillende algoritmen, vegetatie-indices genaamd. De oogst werd gedaan door 2 stroken van 1,5 x 8 m per plot te maaien met een HaldrupTM-oogstmachine voor experimentele velden. De verse grasopbrengst werd gewogen en het drogestofgehalte werd bepaald door grasmonsters gedurende 24 uur in een droogstoof bij 70 °C te drogen.

4.3.4.2 Modelmatig schatten van grasgroei

Voor het modelmatig schatten van de actuele grasopbrengst en het ruw eiwitgehalte werd gebruik gemaakt van een GRAS2007, een stochastisch model van Wageningen Livestock Research dat gebaseerd is op alle groeiverloopprouwen die de laatste decennia zijn uitgevoerd. Het model geeft een goede voorspelling van de grasgroei op goede cultuurgraslanden (80-100% Engels raaigras), maar ook voor graslanden met een meer gevarieerd grassenbestand (Holshof en van den Pol, 2014) die lager gewaardeerd worden. In GRAS2007 wordt gebruik gemaakt van een stikstofbalans, waarbij de stikstofopbrengst geschat wordt op basis van stikstofleverend vermogen van de bodem (NLV), uit stikstof gegeven met kunstmest en dierlijke mest en uit onbenutte stikstof uit een vorige snede. De stikstofopbrengst vanuit de bodem wordt als stikstofjaaropbrengst voor drie grondsoorttypen geschat (zand, klei en veen) en volgens een sigmoïde curve verdeeld over het groeiseizoen (stikstoflevering per dag). De (geschatte) stikstoflevering kan ook als input worden opgegeven. De stikstof uit toegediende (kunst)mest wordt met een vertragingfactor (tijd gift en tijd opname) opgenomen in de plant. Over de totale beschikbare stikstof wordt een efficiëntie geschat. Vanuit een stikstofopbrengst wordt vervolgens de droge stofopbrengst geschat door middel van een aantal factoren (sneenummer, dag in het seizoen, stikstofgift en groeiduur). Vervolgens wordt de grasopbrengst per dag gecorrigeerd voor eventuele stress door droogte of vernatting, op basis van een eenvoudige 'bakjes' model voor het berekenen van een bodemvochtbalans dat gebruikt wordt in het beregeningsadviesprogramma BeregeningsSignaal van ZLTO. Daarbij wordt voor de bodemfysische uitgangspunten uitgegaan van de bouwstenen van de Staringreeks (Wösten *et al.*, 2003). Voor de groeicorrectie is aangenomen dat de reductie van opbrengst recht evenredig is met de verdampingsreductie volgens Doorenbos & Kassam (1979). Het geheel is als webapplicatie vormgegeven, zodat de benodigde bodem-, hydrologie- en weergegevens locatiespecifiek opgehaald kunnen worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van Akkerweb als internetplatform.

4.3.4.3 Statistisch analyse

De statistische analyse richtte zich op het verklaren van de absolute drogestofopbrengst en het stikstofgehalte in vers gras op basis van de uitgevoerde metingen en modelmatige voorspellingen. Daarbij zijn ook de relatieve verschillen in drogestofopbrengst en stikstofgehalte geschat om te zien in welke mate verschillen tussen veldjes of percelen geschat kunnen worden. Doorgaans zijn relatieve verschillen beter te schatten dan absolute verschillen.

De analyse is uitgevoerd op de data van de T4 oogstmomenten om voor (1) reflectiemetingen, (2) grashoogtemetingen en (3) modelmatige grasgroei voorspelling een afzonderlijk voorspellende modellen te genereren, maar ook om te zien hoe deze zich tot elkaar verhouden. Voor de reflectiemetingen richtten de analyses zich op afzonderlijke golflengtes en vier algemene vegetatie-indices die uit reflecties bij 560 nm, 660 - 670 nm, 710-720 nm en 810 nm berekend zijn, te weten NDVI (Rouse *et al.*, 1973), WdVI-rood (Clevers, 1989), WdVI-groen (Clevers, 1989) en NDRE (Barnes *et al.*, 2000).

De analyses zijn uitgevoerd met het statistische pakket Genstat 16th edition (2013). De selectie van het meest verklarende enkelvoudige kenmerk uit de reflectiemetingen (zowel vegetatie-indexen als de enkelvoudige bandbreedtes 560, 760 en 810) is uitgevoerd met de procedure RSEARCH. De selectie is uitgevoerd met en zonder gebruik van basale groeidata. Deze data betrof de groeiduur van de betreffende snede, stikstofbemestingsniveau, locatie en oogstdatum.

Na selectie van het beste reflectiemetingkenmerk zijn verschillende relevante kandidaatmodellen met elkaar vergeleken. De modellen waren opgebouwd uit schatters van verschillende bronnen, te weten grashoogtemetingen (Grashoogte), modelvoorspellingen (Groeimodel), reflectiemetingen (Reflectiemetingen) en basale groeidata (Groeidata). Binnen Groeidata zijn de afzonderlijke kenmerken meegenomen (groeiduur, stikstofbemestingsniveau, locatie en oogstdatum), aangezien deze allen een significant effect op drogestofopbrengst hadden. Voor KTC Zegveld waren in 2016 geen CropScan metingen beschikbaar, waardoor deze locatie x jaar niet in de modellen is meegenomen.

De kandidaatmodellen zijn vergeleken op statistische aspecten, zoals het percentage verklaarde variantie (R-kwadraat) en de residuele variantie. Om zicht te krijgen in de opbouw van de restvariantie is van de meest relevante variantiecomponenten de variantie geschat met een Mixed model. Hierbij is gebruik gemaakt is van de procedure REML uit Genstat (2013).

Samengevat is in de analyse getoetst welke vegetatie-index of individuele golflengte de beste schatting geeft voor drogestof en stikstofgehalte. Vervolgens is deze toetsing vergeleken met het schatten van drogestofopbrengst en stikstofgehalte met grashoogte en het toepassen van een grasgroeimodel. Voor reflectiepercentages en grashoogte vond de analyse op basis van kalibratie plaats en voor het groeimodel op basis van validatie. In de analyse is ook gekeken of combinaties van schatters een betere schatting geven van drogestofopbrengst en stikstofgehalte. In Tabel 4.3-2 staan de individuele schatters en alle uitgevoerde combinaties.

Tabel 4.3-2 Geanalyseerde schatters voor drogestofopbrengst en stikstofgehalte.

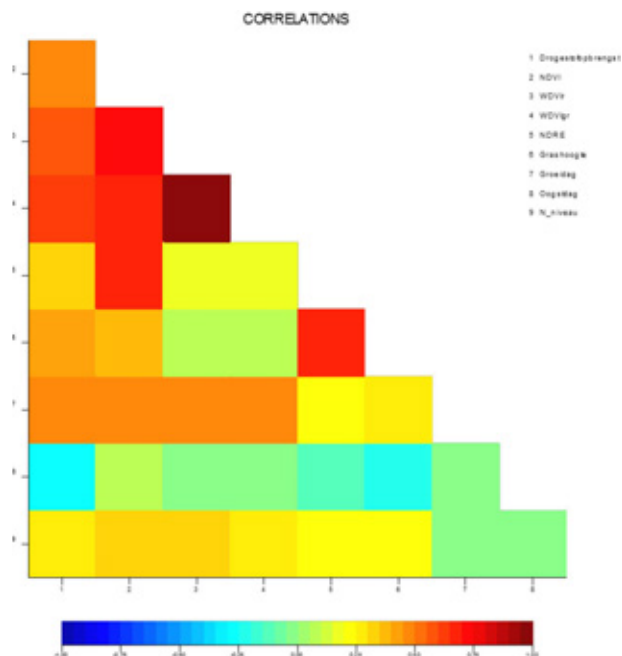
Schatter
Groeidata
Groeimodel
Grashoogte
Reflectie meting
Groeidata + Reflectie meting
Groeidata + Grashoogte
Groeidata + Reflectie meting + Grashoogte
Groeimodel + Grashoogte
Reflectie meting + Grashoogte
Reflectie meting + Groeimodel

4.3.5 Resultaten en Discussie

4.3.5.1 Resultaten maaiproef

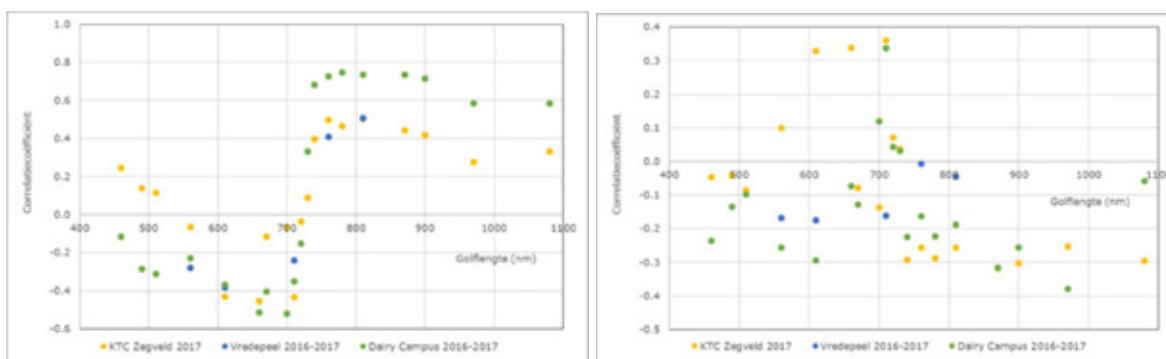
Om inzicht te krijgen in hoeverre vegetatie-indexen (NDVI, WDVired, WDVigreen, NDRE), grashoogte, en basale groeidata (oogstdag, aantal groeidagen en stikstofbemestingsniveau) verhouden tot de drogestofopbrengst is berekend in hoeverre deze databronnen gecorreleerd zijn.

Het resultaat is in een diagram met kleuren weergegeven in Figuur 4.3-1. Des te roder de kleur des te hoger de correlatie. In potentie bieden de databronnen die sterk gecorreleerd zijn met de drogestofopbrengst het meeste perspectief om te gebruiken als schatter voor drogestofopbrengst. Aangezien voor de vegetatie-indexen grotendeels van dezelfde golflengtes gebruik is gemaakt zijn de correlaties tussen deze indexen hoog.



Figuur 4.3-1 Correlaties tussen drogestofopbrengst en verschillende databronnen, namelijk vegetatie-indexen (NDVI, WDWI_{red}, WDWI_{green}, NDRE) voortkomend uit reflectiemetingen, grashoogte en basale groeidata (oogstdag, aantal groeidagen voor oogst en N-niveau).

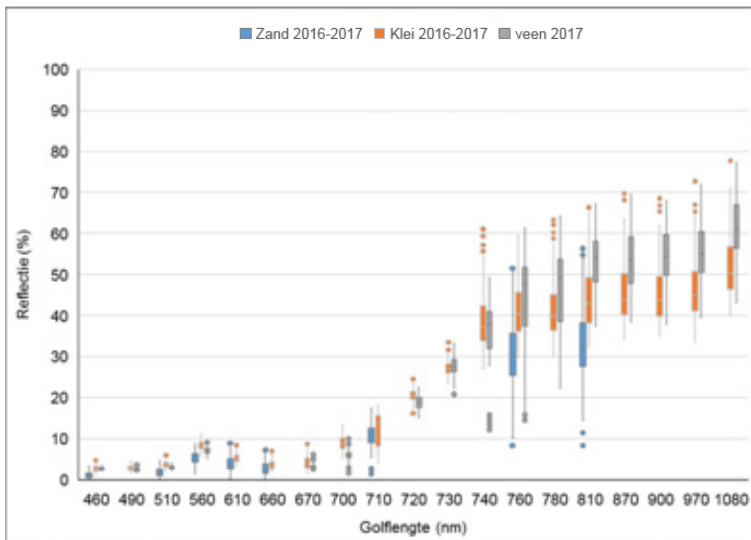
Grashoogte had de hoogste correlatie met drogestofopbrengst, hoger dan de vegetatie-indexen die voortkomen uit de reflectiemetingen. WDWI_{green} had van de vegetatie-indexen de hoogste correlatie. verder valt op dat van de basale groeidata het aantal groeidagen een redelijk hoge correlatie had. Aangezien voor de vegetatie-indexen grotendeels van dezelfde golflengtes gebruik gemaakt wordt zijn de correlaties tussen deze indexen per definitie hoog. Om inzicht te krijgen in welke golflengtes er het meest toe doen, zijn de correlaties tussen de reflectiepercentages van de golflengtes en de drogestofopbrengst respectievelijk N-gehalte nader geanalyseerd. De resultaten staan in Figuur 4.3-2 en daarbij is onderscheid gemaakt tussen de drie locaties.



Figuur 4.3-2 Correlatie tussen reflectiepercentages en drogestofopbrengst (links) respectievelijk N-gehalte (rechts) per golflengte

Voor de drogestofopbrengst worden voor de golflengten tussen 600 en 900 correlatiecoëfficiënten gevonden tussen de -0,60 en +0,80. Tussen de grondsoorten en de golflengtes zijn de correlaties verschillend. Het gebied tussen 600 en 900 lijkt het meest bruikbaar voor het toepassen van reflectiemetingen. Voor N-gehalte zijn de correlatiecoëfficiënten aanmerkelijk lager. Deze liggen tussen -0,40 en +0,40. Bovendien is het beeld niet eenduidig voor de golflengtes tussen 400 en 720 aangezien in dit gebied per golflengte zowel positieve als negatieve correlaties voorkomen.

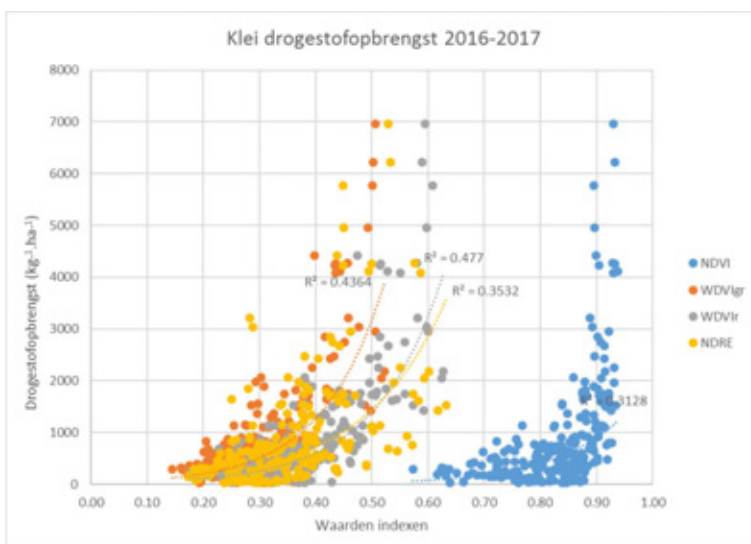
De gemeten reflectie percentages per golflengte staan in Figuur 4.3-3. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de drie locaties en is de variatie tussen de metingen weergegeven met uiterste waarden en de mediaan.



Figuur 4.3-3 Percentage lichtreflectie afhankelijk van de golflengte, waarbij de uiterste waarden en de mediaan zijn weergegeven.

De figuur laat een kleine piek zien in percentage lichtreflectie bij een golflengte 560 en vervolgens een dal bij 660 en vanaf 710 een relatief sterke stijging van het reflectiepercentage tot 810, waarna de stijging aanzienlijk afneemt. Per locatie zijn de reflectiepercentages verschillend, vooral in het nabij infrarood en het infrarood gebied.

In Figuur 4.3-4 zijn de berekende waarden voor de vegetatie-indexen NDVI, WDV_{red}, WDV_{green} en NDRE uitgezet tegen de drogestofopbrengst voor de kleilocatie 2016-2017.



Figuur 4.3-4 Waarden vegetatie-indexen versus de drogestofopbrengst voor klei 2016-2017.

De relatie tussen de waarden van de vegetatie-indexen en de drogestofopbrengst is exponentieel, waardoor een verzadiging optreedt bij opbrengstniveaus hoger dan 2500 à 3000 kg drogestof per ha. Om minder last van deze verzadiging te hebben, zijn in de statistische analyse de schatters vergeleken met het natuurlijke logaritme van de drogestofopbrengst $\ln(\text{drogestofopbrengst})$.

De reflectiepercentages voor afzonderlijke golflengtes en de waarden voor de vegetatie-indexen zijn statistisch getoetst voor droge stofopbrengst, stikstofgehalte en het verschil in drogestofopbrengst tussen veldjes. De analyse is uitgevoerd over de drie locaties heen met de vegetatie-indexen en individuele golflengtes als enkelvoudige schatter en in combinatie met Groeidata. Als resultaat van de analyse staan de percentages verklaarde variantie (R^2) en de P-waarden voor een 95% betrouwbaarheidsinterval in respectievelijk Tabel 4.3-3, -4 en -5.

Tabel 4.3-3 Percentages verklaarde variantie (R^2) en overschrijdingskansen voor een 95% betrouwbaarheidsinterval (P-waarde) voor vegetatie-indexen en afzonderlijke golflengtes als enkelvoudige en gecombineerde schatter met basale groeidata (locatie, stikstofbemestingsniveau, aantal groeidagen en oogstdag) voor Ln(drogestofopbrengst).

R^2	Df	560 nm	760 nm	810 nm	CIred	NDRE	NDVI	WDVI _{gr}	WDVI _r
<i>Enkelvoudige schatter</i>									
54.9	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
51.2	2	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
50.1	2	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
48.4	2	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
39.3	2	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
24.6	2	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
18.3	2	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
0.01	2	0.778	-	-	-	-	-	-	-
<i>Combinatie met groeidata</i>									
78.0	12	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
77.5	12	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
77.5	12	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
75.3	12	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
74.6	12	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
74.5	12	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
72.4	12	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
70.5	12	0.259	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.3-4 Percentages verklaarde variantie (R^2) en overschrijdingskansen een 95% betrouwbaarheidsinterval (P-waarde) voor vegetatie-indexen en afzonderlijke golflengtes als enkelvoudige en gecombineerde schatter met basale groeidata (locatie, stikstofbemestingsniveau, aantal groeidagen en oogstdag) voor stikstofgehalte.

R^2	Df	560 nm	760 nm	810 nm	CIred	NDRE	NDVI	WDVI _{gr}	WDVI _r
<i>Enkelvoudige schatter</i>									
7.4	2	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
6.3	2	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
4.1	2	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
3.4	2	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
2.4	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
1.7	2	-	-	-	-	-	-	0.002	-
0.8	2	-	-	0.028	-	-	-	-	-
0.7	2	-	0.049	-	-	-	-	-	-
<i>Combinatie met groeidata</i>									
72.7	12	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
71.9	12	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
71.6	12	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
71.5	12	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
70.6	12	-	-	-	-	-	-	-	0.032
70.6	12	-	-	0.072	-	-	-	-	-
70.5	12	-	-	-	-	-	-	0.205	-
70.4	12	-	0.375	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.3-5 Percentages verklaarde variantie (R^2) en overschrijdingskansen een 95% betrouwbaarheidsinterval (P -waarde) voor vegetatie-indexen en afzonderlijke golflengtes als enkelvoudige en gecombineerde schatter met basale groeidata (locatie, stikstofbemestingsniveau, aantal groeidagen en oogstdag) voor verschil in $\text{Ln}(\text{drogestofopbrengst})$.

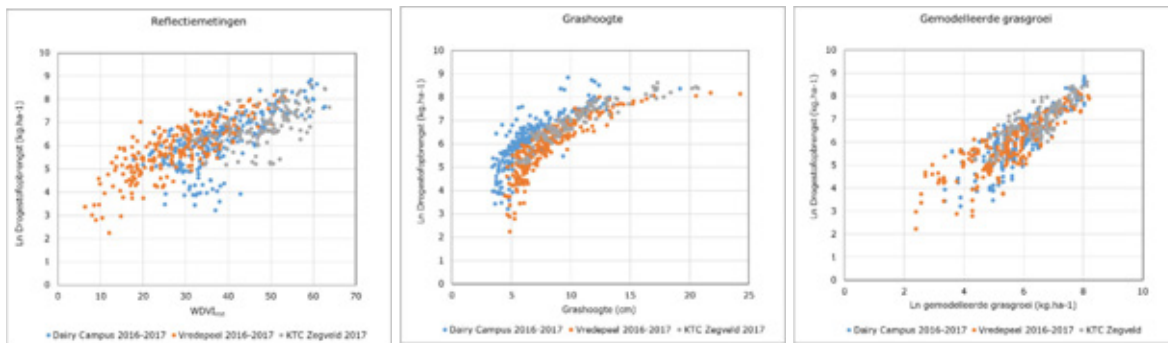
R^2	Df	560 nm	760 nm	810 nm	NDVI	NDRE	Clred	CCCI	WDVI _{gr}	WDVI _r
<i>Enkelvoudige schatter</i>										
73	2	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
73	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
71	2	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
68	2	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
67	2	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
66	2	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
65	2	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
39	2	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
21	2	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Combinatie met groeidata</i>										
79	12	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001
78	12	-	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-
77	12	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-
76	12	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-
75	12	-	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-
74	12	-	-	-	< 0.001	-	-	-	-	-
73	12	-	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-
62	12	-	-	-	-	-	< 0.001	-	-	-
56	12	< 0.001	-	-	-	-	-	-	-	-

Voor drogestofopbrengst en verschil in drogestofopbrengst was WDVI_{red} de beste schatter, zowel als enkelvoudige schatter als gecombineerd met basale groeidata. Voor stikstofgehalte was dit golflengte 560 nm (de kleur groen in het zichtbare licht). De groeidata verbeterde de schatting voor drogestofopbrengst en stikstofgehalte aanzienlijk. Voor stikstofgehalte is zonder groeidata nauwelijks sprake van een voorspelling.

Om een beeld te krijgen hoe voor drogestofopbrengst de modelfit van de overall analyse zich verhoudt tot de data, zijn in Figuur 4.3-5 de waarden voor WDVI_{red} uitgezet tegen $\text{Ln}(\text{drogestofopbrengst})$. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de drie grondsoorten. Ter vergelijking zijn ook de gemeten grashoogten (1/grashoogte) uitgezet tegen $\text{Ln}(\text{drogestofopbrengst})$.

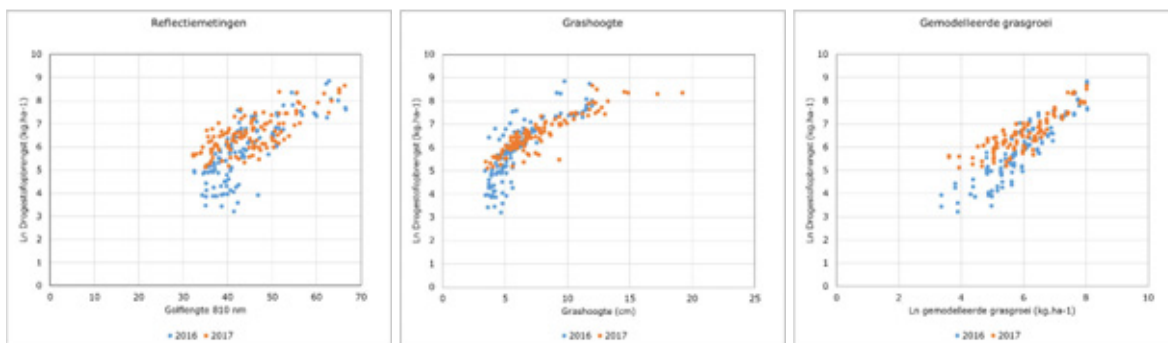
Vergelijk reflectiemetingen, grashoogte en gemodelleerde grasgroei

Om een beeld te krijgen hoe voor drogestofopbrengst de model fit van de overall analyse zich verhoudt tot de data, zijn in Figuur 4.3-5 de waarden voor WDVI_{red} uitgezet tegen $\text{Ln}(\text{drogestofopbrengst})$. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de drie locaties. Ter vergelijking zijn ook de gemeten grashoogten (1/grashoogte) en de Ln gemodelleerde grasopbrengsten uitgezet tegen $\text{Ln}(\text{drogestofopbrengst})$.

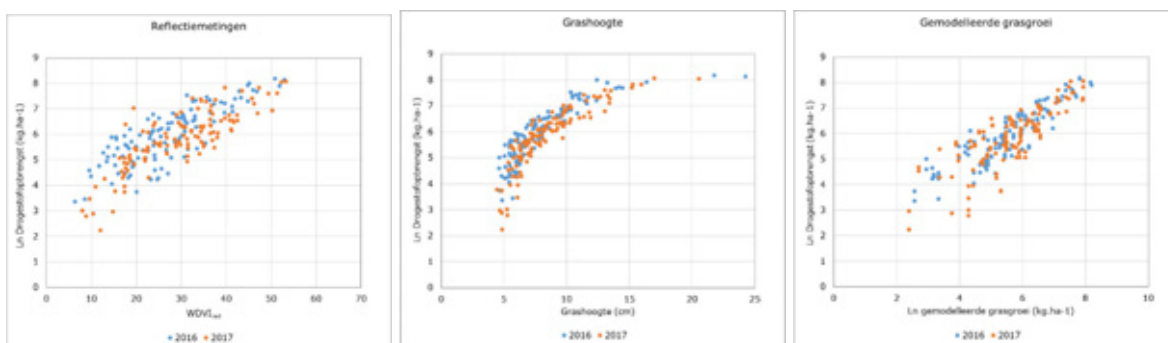


Figuur 4.3-5 Vegetatie-index WDV_{red} , grashoogte als schatters en gemiddelde grasgroei als benadering voor de drogestofopbrengst van gras voor de locaties/grondsoorten klei, zand en veen en beide proefjaren (Dairy Campus en Vredepeel 2016 en 2017, KTC Zegveld 2017).

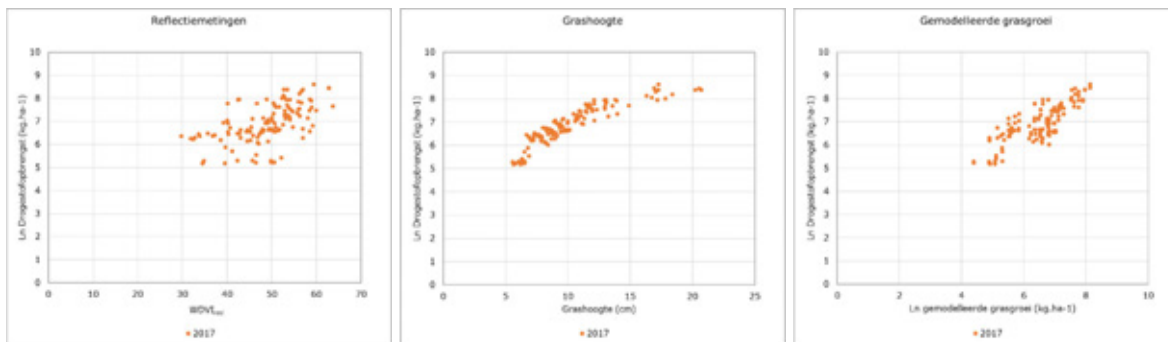
Verschillen tussen de grondsoorten zijn vooral voor reflectiometingen en grashoogte duidelijk zichtbaar. Dit betekent dat in potentie een analyse per grondsoort een betere schatting oplevert. In Figuur 4.3-6, -7 en -8 zijn de percentages reflecties, grashoogtes en de berekende grasgroei uitgezet tegen de gemeten drogestofopbrengsten, voor de drie locaties respectievelijk klei-, zand- en veengrond. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de beide proefjaren.



Figuur 4.3-6 Ln drogestofopbrengst versus respectievelijk reflectiometingen (810), grashoogte en modelmatig geschatte groei voor kleigrond (Dairy Campus) 2016-2017.



Figuur 4.3-7 Drogestofopbrengst versus respectievelijk reflectiometingen (WDV_{red}), grashoogte en modelmatig geschatte groei voor zandgrond (Vredepeel) 2016-2017.



Figuur 4.3-8 Drogestofopbrengst versus respectievelijk reflectiemetingen ($WDVI_{red}$), grashoogte en modelmatig geschatte groei voor veengrond (KTC Zegveld) 2017.

Statistische analyse reflectiemetingen, grashoogte en gemodelleerde grasgroei

Als vervolg op de analyse is voor drogestofopbrengst, stikstofgehalte en het verschil in droge stofopbrengst van de data bronnen Reflectie metingen, Grasdata, Groeimodel en Grashoogte het percentage verklaarde variantie (R^2), de residuele variantie (σ) en de 2S waarde berekend voor de drie locaties en per locatie. Uitgegaan is van de individuele en gecombineerde databronnen en dit leverde de kandidaatmodellen zoals die in Tabel 4.3-2 staan. De 2S-waarde wordt berekend uit de residuele variantie (*mean square prediction error*) en geeft de omvang van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling weer. Drogestofopbrengst is in de statistische analyse ln-getransformeerd. De 2s-waarde wordt bij droge stof opbrengst echter weergegeven op oorspronkelijk schaal (terugtransformatie). Hierdoor is de 2s-waarde een vermenigvuldigingsfactor. Dus voor drogestofopbrengst en een 2S-waarde van bijvoorbeeld 3, ligt de voorspelde waarde in de range van 1/3 tot 3 keer de voorspelde drogestofopbrengst. De resultaten van de statistische analyse voor drogestofopbrengst, N-gehalte en het verschil in droge stofopbrengst staan respectievelijk in Tabel 4.3-6, -7 en -8.

Tabel 4.3-6 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen ($WDVI_{red}$ en klei 810), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor drogestofopbrengst, voor de drie locaties gezamenlijk (2016-2017) en per locatie/grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Locaties gezamenlijk Dairy Campus (klei)			Vredepeel (Zand)			KTC Zegveld (veen)		
	2016-2017	2016-2017	2016-2017	2016-2017	2016-2017	2016-2017	2016-2017	2017	
	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S
Leeg model	0	1.35	0.000	0	1.39	0.00	0	1.38	0.00
Groeidata	71	0.39	3.509	72	0.37	3.40	71	0.40	3.55
Groeimodel	72	0.37	3.381	71	0.40	3.55	74	0.36	3.34
Grashoogte	65	0.47	3.940	74	0.35	3.28	83	0.23	2.60
Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$, klei 810 nm)	56	0.59	4.653	53	0.63	4.88	68	0.45	3.80
Grashoogte + Groeidata	85	0.20	2.430	87	0.19	2.37	85	0.21	2.47
Grashoogte + Groeimodel	80	0.27	2.816	80	0.28	2.86	86	0.19	2.39
Reflectiemetingen + Grashoogte	77	0.32	3.073	77	0.31	3.04	85	0.20	2.45
Reflectiemetingen + Groeidata	78	0.29	2.952	78	0.30	3.00	80	0.27	2.84
Reflectiemetingen + Groeimodel	77	0.30	3.007	76	0.33	3.16	84	0.22	2.56
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	87	0.18	2.325	87	0.17	2.29	87	0.18	2.35
							92	0.06	1.64
							91	0.07	1.68
							92	0.06	1.64
							69	0.23	2.60
							69	0.23	2.61
							92	0.06	1.62

De kalibratie van reflectiemetingen voor drogestofopbrengst gaf over grondsoorten heen slechts een zeer grove schatting ($R^2 < 60\%$). Voor zandgrond was de schatting beter, voor kleigrond vergelijkbaar en voor veengrond was de schatting nog aanmerkelijk zwakker. Opvalt dat de kalibratie op basis van basale Groeidata een betere schatting gaf ($R^2 > 70\%$). De validatie van het groeimodel kwam op een zelfde niveau van percentage verklaarde variantie als Groeidata. Grashoogte gaf over grondsoorten heen een vrij zwakke schatting ($R^2 < 70\%$), echter per locatie was de voorspelling aanmerkelijk beter. Voor Zegveld was de verklaarde variantie van de schatting zelfs hoger dan 90%, maar dit kwam vooral omdat deze alleen gebaseerd was op 2017. De schattingen met reflectiemetingen en grashoogtemetingen verbeterden aanmerkelijk in combinatie met groeidata. Ook in combinatie met

het Groeimodel leverde Grashoogte en Reflectiemetingen een betere schattingen evenals Reflectiemetingen in combinatie met Grashoogte.

Tabel 4.3-7 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen (560), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor stikstofgehalte, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Locaties gezamenlijk 2016-2017			Dairy Campus (klei) 2016-2017			Vredepeel (Zand) 2016-2017			KTC Zegveld (veen) 2017		
	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S
Leeg model	0	62.46	0.00	0	38.88	0.00	0	53.05	0.00	0	40.75	0.00
Groeidata	71	17.92	8.47	72	10.92	6.61	60	21.18	9.20	49	20.70	9.10
Groeimodel	14	53.44	14.62	23	30.01	10.96	6	49.62	14.09	40	24.46	9.89
Grashoogte	5	59.60	15.44	24	29.55	10.87	12	46.78	13.68	40	24.45	9.89
Reflectiemetingen (560 nm)	12	55.18	14.86	19	31.30	11.19	15	45.34	13.47	30	28.36	10.65
Grashoogte + Groeidata	72	17.49	8.36	74	9.94	6.31	61	20.59	9.08	51	19.82	8.90
Grashoogte + Groeimodel	14	53.53	14.63	30	27.04	10.40	12	46.59	13.65	44	22.75	9.54
Reflectiemetingen + Grashoogte	16	52.18	14.45	35	25.30	10.06	25	39.99	12.65	42	23.55	9.71
Reflectiemetingen + Groeidata	73	16.59	8.15	76	9.14	6.05	62	19.92	8.93	50	20.27	9.00
Reflectiemetingen + Groeimodel	22	48.76	13.97	33	26.12	10.22	21	42.13	12.98	44	22.84	9.56
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	74	15.95	7.99	81	7.57	5.50	63	19.50	8.83	52	19.73	8.88

Reflectiemetingen gaven voor stikstofgehalte een zeer zwakke voorspelling. Basale groeidata gaven een aanmerkelijk betere schatting. In combinatie met Reflectiemetingen en Grashoogte werd de voorspelling nauwelijks beter. Opmerkelijk is dat het Groeimodel ook een zeer zwakke schatting gaf voor het stikstofgehalte (zie verder paragraaf Discussie).

Tabel 4.3-8 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen ($WDVI_{red}$), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor verschil in drogestofopbrengst, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Locaties gezamenlijk 2016-2017			Dairy Campus (klei) 2016-2017			Vredepeel (Zand) 2016-2017			KTC Zegveld (veen) 2017		
	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S	R^2	σ^2	2S
Leeg model	0	0.88	0.00	0	0.85	0.00	0	1.14	0.00	0	0.44	0.00
Groeidata	52	0.42	3.66	49	0.43	3.71	60	0.45	3.85	47	0.24	2.64
Groeimodel	78	0.20	2.42	80	0.17	2.29	77	0.27	2.80	77	0.10	1.89
Grashoogte	71	0.26	2.77	72	0.24	2.64	69	0.35	3.26	87	0.06	1.61
Reflectiemetingen ($WDVI_{red}$)	73	0.24	2.65	77	0.20	2.42	77	0.26	2.77	54	0.21	2.47
Grashoogte + Groeidata	75	0.22	2.56	76	0.21	2.48	76	0.27	2.84	87	0.06	1.61
Grashoogte + Groeimodel	83	0.15	2.15	83	0.14	2.13	82	0.21	2.49	94	0.03	1.39
Reflectiemetingen + Grashoogte	80	0.18	2.31	80	0.17	2.26	81	0.22	2.55	89	0.05	1.57
Reflectiemetingen + Groeidata	78	0.19	2.40	80	0.17	2.27	82	0.20	2.47	68	0.14	2.12
Reflectiemetingen + Groeimodel	86	0.13	2.03	87	0.11	1.95	86	0.16	2.22	83	0.08	1.74
Reflectiemetingen + Grashoogte + Groeidata	82	0.16	2.20	83	0.15	2.16	84	0.18	2.36	89	0.05	1.56

Vergeleken met de absolute drogestofopbrengst verbeterden de verklaarde varianties voor het verschil in drogestofopbrengst vooral voor Reflectiemetingen en Groeimodel. Ook de schatting voor de combinatie van groeimodel en reflectiemetingen verbeterde aanzienlijk. Voor Groeidata werden de voorspellingen minder goed. Voor grashoogte afzonderlijk en in combinatie met Groeimodel en Reflectiemetingen werd de voorspelling enigszins verbeterd, maar niet in combinatie met Groeidata.

Tabel 4.3-9 Percentage verklaarde variantie (R^2), residuele variantie (σ^2 op logschaal) en 2S-waarde voor individuele en gecombineerde schatters van Reflectie metingen ($WDVI_{red}$), Groeidata, Groeimodel en Grashoogte voor verschil in stikstofgehalte, voor de drie grondsoorten gezamenlijk (2016-2017) en per grondsoort (klei en zand 2016-2017 en veen 2017).

	Alle locaties			Dairy Campus 2016-2017			Vredepeel 2016-2017			Zegveld 2017		
	R^2	σ	2S	R^2	σ	2S	R^2	σ	2S	R^2	σ	2S
Leeg model	0	17.81	0.00	0	12.38	0.00	0	21.48	0.00	0	21.19	0.00
Groeidata	38	11.04	6.64	49	6.33	5.03	36	13.84	7.44	45	11.67	6.83
Groeimodel	24	13.60	7.38	35	8.06	5.68	20	17.27	8.31	24	16.00	8.00
Grashoogte	8	16.38	8.09	1	12.26	7.00	7	20.00	8.94	37	13.28	7.29
Reflectie beelden (560 nm)	3	17.35	8.33	0	12.33	7.02	2	21.06	9.18	12	18.63	8.63
Groeidata + reflectie	43	10.20	6.39	61	4.89	4.42	39	13.11	7.24	44	11.77	6.86
Groeidata + grashoogte	48	9.19	6.06	60	4.96	4.45	44	12.08	6.95	54	9.69	6.23
Groeidata + reflectie beelden + grashoogte	48	9.19	6.06	62	4.75	4.36	44	12.13	6.97	57	9.18	6.06
Groeimodel + grashoogte	25	13.34	7.30	35	8.07	5.68	20	17.15	8.28	41	12.47	7.06
Reflectie beelden + grashoogte	9	16.29	8.07	1	12.30	7.02	7	19.91	8.92	37	13.25	7.28
Reflectie beelden + groeimodel	24	13.62	7.38	37	7.83	5.60	19	17.34	8.33	24	16.05	8.01

Vergeleken met de rechtstreekse schattingen van het stikstofgehalte uit Tabel 4.3-2 leverde een schatting van het verschil in stikstofgehalte geen toegevoegde waarde. Vooral voor Groeidata werden de percentages verklaarde variantie zelfs aanzienlijk lager.

4.3.5.2 Discussie

- Reflectiemetingen gaven over locaties heen, maar ook per locatie een relatief grove schatting van de drogestofopbrengst. De invloed van onbedekte grond en verschil in atmosferische meetcondities speelden hierin waarschijnlijk een belangrijke rol.
- Bij het toepassen van $WDVI$ wordt met het effect van onbedekte grond rekening gehouden door hiervan de reflectie apart te meten. In het onderzoek is deze meting daadwerkelijk uitgevoerd, echter in de praktijk wordt hier een vaste waarde voor gebruikt. De consequentie van het gebruik van deze vaste factor is nog niet nagegaan.
- De invloed van atmosferisch ruis wordt mogelijk vastgesteld door de dataset van 2016-2017 te vergelijken met die van 2018 (pps DISAC). In 2018 zijn de metingen bewust onder de best mogelijke atmosferische condities uitgevoerd.
- Wanneer de ruis van atmosferische condities uitgesloten wordt, zal mogelijk ook meer duidelijkheid verkregen worden over de invloed van de grasstoppel.
- Bij het gebruik van satellietbeelden is de atmosferische correctie een extra complicerende factor. In de pps DISAC wordt hiervoor een kalibratieprotocol voor ontwikkeld.
- Vergeleken met de analyse over locaties heen neemt per locatie de verklaarde variantie bij grashoogte wel toe, maar bij het gebruik van reflectiemetingen niet. Bij toepassing van reflectiemetingen kan eveneens de variatie in meetomstandigheden (binnen een jaar) hiervoor een verklaring zijn.
- Voor reflectiemetingen is de inzet van enkelvoudige kenmerken versus meerdere kenmerken nog niet uitputtend onderzocht. Met name bij het voorspellen van N-gehalte wordt een meerwaarde verwacht. Echter, bij het gebruik van meerdere kenmerken moet het risico van een 'over fit' voorkomen worden.
- Het stikstofgehalte werd door het groeimodel niet goed geschat. Dit is te verklaren doordat het stikstofgehalte berekend wordt door de geschatte stikstofopbrengst te delen door de geschatte drogestofopbrengst. Aangezien het stikstofgehalte een zeer klein deel betreft van de totale biomassa levert deze benadering een zeer onnauwkeurige schatting. Beter is om het stikstofgehalte evenals de drogestofopbrengst en de stikstofopbrengst apart te schatten. Het percentage verklaarde variantie is dan ongeveer 65%.
- In de modelmatige schatting van grasgroei speelt de N-levering van de bodem een grote rol. De berekende stikstoflevering van de bodem op basis van de stikstofopbrengst van de onbemeste velden, week sterk af van de geschatte NLV (volgens bodemanalyse) én was verschillende tussen jaren en tussen herhalingen. Dit duidt op heterogeniteit in het perceel en op ongrijpbare bodeminformatie.
- Vanwege de grote invloed die stikstof heeft op de voorspelde grasgroei, is in de vergelijking met reflectiemetingen en grashoogtemetingen de grasgroei berekend op basis van de werkelijk

gemiddelde stikstoflevering per locatie per jaar. Dit betekent dat de afwijkingen van het groeimodel groter zullen zijn naarmate de analyses meer afwijken van de werkelijke stikstoflevering.

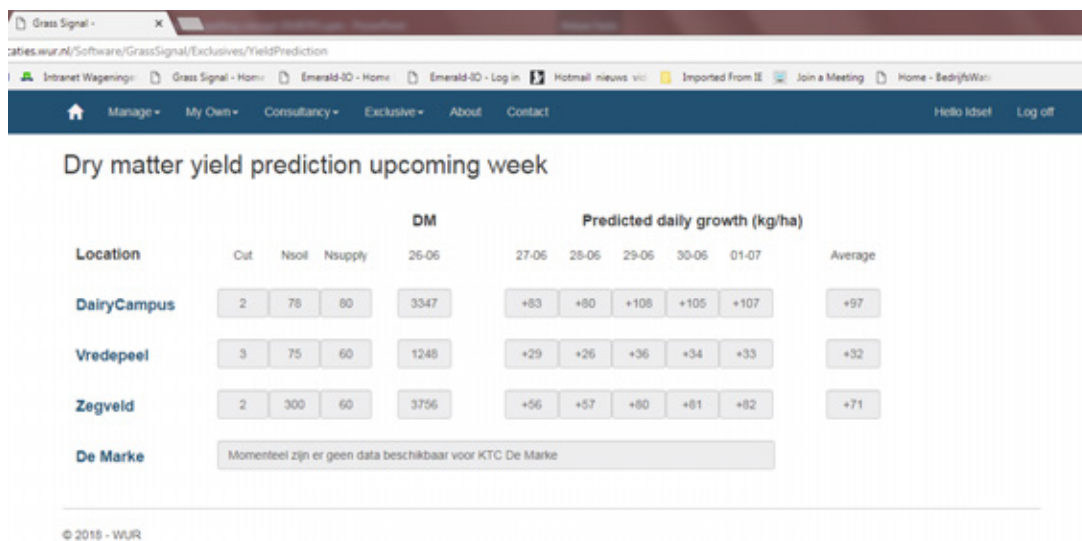
- De gemeten grasopbrengsten verschilden tussen de herhalingen, terwijl voor de berekende groei uitgegaan werd van gelijke uitgangspunten en de berekende opbrengsten identiek waren. De vergelijking is lastiger naarmate de verschillen tussen de herhalingen van de werkelijk gemeten opbrengsten groter zijn.
- Een consequentie van het gebruik van een relatief eenvoudige bodemvochtbalans was dat de berekende grasgroei in het natte traject niet gereduceerd werd. Dit was vooral aan de orde eind juni 2016 op de locaties Zegveld en Vredepeel.

4.3.6 Valorisatie

Voor het voorspellen van grasgroei is een voorlopige webapplicatie gemaakt om automatische datakoppelingen voor bodemfysica en weerdata mogelijk te maken. Deze data zijn noodzakelijk om een bodemvochtbalans te kunnen berekenen. Op basis van beschikbaar bodemvocht werd de berekende grasopbrengst gecorrigeerd (zie paragraaf 2.3). De betreffende data was locatie specifiek. Voor de bodemfysica werd gebruik gemaakt van de BOFEK-kaart, welke afgeleid is van de 1:50.000 bodemkaart en de zogenaamd Staringreeks bouwstenen weergeeft voor de boven- en ondergrond. Voor de weerdata (historisch en verwachting) is gebruik gemaakt van data die geleverd werd door Nelen & Schuurmans ten behoeve van BeregeningsSignaal van ZLTO. BeregeningsSignaal maakt gebruik van een eenvoudig bodemvochtbalans model van Wageningen Livestock Research. Voor de historische neerslag is gebruik gemaakt van radardata (grid van 2,4 km).

Met GRAS2007 werd op dagbasis de optimale groei berekend, waarbij een overmaat of tekort aan vocht de groei reduceerde. Grasgroei krijgt via een http-reply in xml-vorm de benodigde input van de webservice van BeregeningsSignaal. Het betrof een eenvoudige koppeling op afstand, waarbij beide programma's ongewijzigd bleven. Voor praktijktoepassing is het de bedoeling dat de applicaties onder het internetplatform Akkerweb gaan draaien, zodat de programma toegankelijker worden, beter geïntegreerd worden en de koppelingen gemakkelijker te realiseren zijn.

De opgave van de stikstofgift en het oogsttijdstip per snede werden als input voor GRAS2007 georganiseerd via een website getiteld GrasSignaal. Deze website werd ook gebruikt om de resultaten van de voorspelde grasgroei te tonen. De website was toegankelijk via zowel een interne login voor het regelen van de benodigde inputs en het kunnen bekijken van de resultaten, als een externe login voor projectteamleden, Veeteelt (zie Figuur 4.3-9) en de opdrachtgevers om de resultaten van de proefvelden real time te kunnen volgen.



Figuur 4.3-9 Wekelijkse grasgroei voorspelling voor publicatie in Veeteelt met GrasSignaal.

4.3.7 Conclusie en aanbevelingen

Conclusies

- Voor het toepassen van reflectiemetingen was $WDVI_{red}$ de beste schatter voor drogestof-opbrengst en het verschil in drogestofopbrengst. Voor verschil in drogestofopbrengst was de schatting nauwkeuriger dan voor de absolute drogestofopbrengst.
- Na $WDVI_{red}$ presteerden voor drogestofopbrengst en verschil in drogestofopbrengst de individuele golflengten 760 en 810 en de index $WDVI_{green}$ vergelijkbaar. Deze individuele golflengten en indexen presteerden aanmerkelijk beter dan de overige vegetatie-indexen.
- Over de locaties en proefjaren heen waren reflectiemetingen en grashoogte niet erg nauwkeurig in het voorspellen van drogestofopbrengst. Op dit niveau presteerde het gebruikte grasgroeimodel beter.
- Bij additioneel gebruik van basale groeidata geven zowel reflectiemetingen als grashoogte 5 tot 10% extra verklaarde variantie.
- Ondanks dat het gebruik van het grasgroeimodel validatie betreft (i.p.v. kalibratie) is de modelverklaring iets beter dan schatting van effecten op basis van globale groeidata.
- Grashoogtemetingen verbeteren de voorspelling van reflectiemetingen en het groeimodel.
- Per locatie (t.o.v. over locaties heen) verbeterde de schatting van drogestofopbrengst op basis van grashoogte aanzienlijk. Op basis van reflectiemetingen was dit in veel mindere mate het geval.
- Per locatie is de toegevoegde waarde van basale groeidata groter bij reflectiemetingen dan bij grashoogte.
- De toegevoegde waarde van grashoogtemetingen voor de voorspelling van reflectiemetingen en groeimodel was per locatie relatief groter dan over locaties heen.
- Reflectiemetingen gaven voor stikstofgehalte nauwelijks een voorspelling. De beste schatter was golflengte 560 nm (groen).
- Het gebruik van een eBee drone met een Multispec 4c camera vraagt een specifiek kalibratiemodel voor drogestofopbrengst, aangezien het toepassen van het kalibratiemodel voor de CropScan op de eBee data tot beduidend minder goede schattingen leidden.
- Standaardisatie van eBee data over meetmomenten heen op basis van kalibratieplaten leidde niet tot betere schattingen.
- De modelmatig berekende grasgroei is gevoelig voor (1) een verkeerde schatting van de NLV, (2) een afwijkende benadering van het vrijkomen van stikstof gedurende het groeiseizoen, (3) een afwijking van de worteldiepte (4) een afwijkende benadering van de bodemvochttoestand en (5) afwijkingen in neerslag en verdamping.
- Voor hydrologisch complexere bodems is behoefte aan een bodemvochtmodel dat rekening houdt met de aanwezigheid van drainagemiddelen en ook relatief natte situaties ten tijde van een neerslagoverschot goed kan benaderen.

Aanbevelingen

- Door bedrijfsinformatie aan het gebruik van reflectiemetingen te koppelen vergroot de betrouwbaarheid van de metingen.
- In plaats van globale groeidata zou dit ook kunnen door een groeimodel, zoals dat wordt toegepast in de vorm van GrasSignaal, te gebruiken.
- Grashoogtemetingen verbeteren zowel de schattingen van de reflectiemetingen als die van de modelmatig berekende grasgroei. Bekeken moet worden op welke wijze dit praktisch uitvoerbaar is.

4.3.8 Literatuurlijst

Referenties

- Barnes, E., T. Clarke, S. Richards, P. Colaizzi, J. Haberland, M. Kostrzewski, P. Waller, C. Choi, E. Riley, and T. Thompson. 2000. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN*, 16-19.
- Clevers, J. 1989. Application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing of Environment* 29(1):25-37.
- CROPSCAN, 2016. Multispectral Radiometers. Available at: <http://www.cropscan.com/msr.html>. Accessed 15-11.

Doorenbos, J. & Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper* No. 33. Rome, FAO.

GenStat 16th edition, 2013. VSN International Ltd

Holshof G. and A. van den Pol-van Dasselaar, 2014. Modelling DM growth of multi-species grassland plots in the Netherlands. *Grassland Science in Europe*, Vol. 19, 725-727.

Hoving, I.E., J. van Riel, G. Holshof, M. Plomp, S. Agricola, K. van Boheemen en G. Roerink, 2019. Grasopbrengst meten met remote sensing techniek; Onderzoeksresultaten van een maaiproef op zand- klei en veengrond 2016-2017. Wageningen Livestock Research, Report 1200.

Rouse Jr, J. W., R. Haas, J. Schell, and D. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication* 351:309.

Wosten, J.H.M., Vries, F., de Hoogland, T., Massop, H.T.L., Veldhuizen, A.A., Vroon, H.R.J., Wesseling, J.G., Heijkers, J., Bolman, A. 2012. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2387.

Deelprojectoutput

Hoving, I.E., D.A.J. Starmans, J.A. Booij, I. Kuiper en G. Holshof, 2017. Grasopbrengst meten met remote sensing. Wageningen, V-Focus oktober 2017.

Hoving, I.E., D.A.J. Starmans, J.A. Booij, I. Kuiper, G. Holshof, 2018. Grass growth measurements with remote sensing techniques. Cork, EGF congress 2018. Conference paper.

Hoving, I.E. en G. Holshof, 2019. Grasgroei meten of grasgroei voorspellen? Wageningen, V-Focus februari 2019.

Interview Idse Hoving voor het artikel Weidegang met Precisie in Boerderij 20 juni 2017

<https://www.amazinggrazing.eu/nl/amazinggrazing-4/show/Grasopbrengsten-bepalen-met-satelliet-en-dronebeelden.htm>

Presentatie tijdens inspiratiemiddag 'Blij met sensoren in de wei' 2 mei 2017, Idse Hoving en Bert Philipsen, Dairy Campus, ongeveer 50 toehoorders

Posterpresentatie Gras- en maïsmanifestatie september 2017, Proefbedrijf Vredepeel, ongeveer 1000 - 1500 bezoekers

Presentatie 'Meten en voorspellen van grasgroei' voor AJK Achterhoek op 26 oktober 2017 te Azewijn

Posterpresentatie EGF-conference Ireland juni 2018

Presentatie 'Sensorgestuurde grasteelt' op de AgriFoodTech beurs in Den Bosch op 12 december 2018

4.4 Online bemestingsadvies

Auteurs: Frits van Evert

Uitvoerende partijen: Agrifirm Plant B.V. en Wageningen UR

4.4.1 Samenvatting

Aan de hand van resultaten van veldproeven in 2016 en 2017 en van in het verleden verzamelde gegevens is het volgende vastgesteld. De meest praktische methode om de totale N opname (nodig voor bijmestadvies) af te leiden uit de bovengrondse N opname (uit reflectiemeting) is om aan te nemen dat 75% van de totale N zich in bovengrondse delen bevindt. Gelijktijdige gewasreflectiemetingen met Cropscan, Handyspec en Multispec 4C camera (de laatste op een eBee drone) komen goed met elkaar overeen. Er zijn verschillende vegetatie indices getest op hun geschiktheid om de N opname in aardappelen te bepalen. Met de Cropscan en de Handyspec gaf de NDRE het beste resultaat, maar de red-edge band deze index gebruikt wordt niet nauwkeurig genoeg gemeten door de Multispec 4C. De CI geeft in principe een iets minder goede schatting van de N opname dan de NDRE, maar is wel de beste keuze voor de Multispec 4C. De nieuwe inzichten zijn geïmplementeerd in de NBS app op Akkerweb.

4.4.2 Aanleiding

Het is al geruime tijd bekend dat de efficiëntie van de toegediende N bij aardappelen kan worden verhoogd door de N gift te delen (Vos, 1999) en door de bijmestgift af te stemmen op de actuele gewasbehoefte (Van Evert *et al.*, 2012). De behoefte aan N hangt af van groeiomstandigheden als weer, N-mineralisatie in de bodem, eventuele verliezen door uitspoeling en de streefopbrengst. Een hogere efficiëntie wil zeggen: dezelfde opbrengst met minder N, hogere opbrengst met dezelfde hoeveelheid N, of een combinatie van beide.

WUR heeft een N-bijmeststelsel voor aardappelen ontwikkeld waarbij aan de basis ongeveer 2/3 van de adviesgift wordt toegediend en waar rond 1 juli de hoogte van de bijmestgift wordt vastgesteld op basis van een gewasreflectiemeting. Uit de gewasreflectie kan de stikstofstatus van het gewas worden afgeleid. Deze wordt vergeleken met een streefwaarde en vervolgens wordt een bijmestgift berekend. Met dit systeem wordt 10-15% N bespaard zonder dat de opbrengst minder is.

Bovengenoemd systeem wordt op dit moment niet op grote schaal toegepast, mogelijk omdat telers opzien tegen aanschaf en onderhoud van een gewasreflectiesensor en omdat het verwerken van de data een struikelblok is.

4.4.3 Doel van het project

Doel van dit deelproject is het ontwikkelen van een online bemestingsadvies waarbij de gewasreflectiemeting uitgevoerd kan worden met een UAV ("drone") en de verwerking van de data tot een N-bijmestadvies plaats vindt via Akkerweb. De teler kan het advies via Akkerweb downloaden als taakkaart voor de kunstmeststrooier. Het onderzoek wordt uitgevoerd door Agrifirm Plant B.V. en Wageningen University & Research.

4.4.4 Aanpak

In 2016 en 2017 zijn stikstof-trappen proeven uitgevoerd in Lelystad en Valthermond. Op meerdere momenten in het groeiseizoen zijn er tussenoogsten uitgevoerd om opbrengst en N-opname te bepalen. Met deze gegevens is het mogelijk om de verhouding bovengronds/ondergrondse N-opname te bepalen als functie van het aantal sinds opkomst. Op de dagen dat er tussenoogsten zijn uitgevoerd (of kort daarvoor) is er ook met een drone over de proeven gevlogen. Op basis van de verzamelde gegevens is een ijklijn opgesteld waarmee het drone-beeld vertaald kan worden naar de hoeveelheid N in het bovengrondse deel van het gewas. Door combinatie van beide stukken informatie kan de totale N-opname worden vastgesteld aan de hand van een drone-beeld.

De NBS app op Akkerweb is aangepast zodat deze drone-beelden met hoge resolutie besteld en verwerkt kunnen worden. Daardoor kunnen Nederlandse telers van consumptie- en zetmeel-

aardappelen nu een drone-vlucht bestellen voor een bepaalde dag en de daarop volgende dag het bijmestadvies uitvoeren.

Ten behoeve van de adviseurs van Agrifirm is een samenvatting gemaakt van alle proeven die in de afgelopen 15 jaar zijn gedaan om het N-bijmeststelsel te testen.

4.4.5 Resultaten en discussie

4.4.5.1 Veldproeven 2016 en 2017

Proeflocaties en proefopzet

In 2016 zijn proeven uitgevoerd in Valthermond (zetmeelaardappel), in Lelystad (consumptieaardappel), en Wijnandsrade (consumptieaardappel). In 2017 zijn proeven uitgevoerd in Valthermond en Lelystad. In Valthermond zijn de rassen Avarna en Seresta gebruikt (in vroegrijpheid verschillend). In Lelystad waren de rassen Innovator (middenvroeg) en Agria (middenlaat). In Wijnandsrade is Challenger gepoot.

In Valthermond en Lelystad zijn de twee rassen in aparte proeven naast elkaar aangelegd.

In alle gevallen zijn 4 N-trappen (N1, N2, N3, N4) toegepast, met een eenmalige N-gift aan de basis:

- Zetmeelaardappel: 0 – 75 – 150 – 200/225 kg N per ha
- Consumptieaardappel klei: 0 – 75 – 150 – 225...275 kg N per ha
- Consumptieaardappel zand: 0 – 75 – 150 – 200...250 kg N per ha

De eerste drie N-trappen zijn overal gelijk. De hoogste N-trap (N4) wordt afgestemd op de locatie en het ras. De bedoeling bij de hoogste N-trap is dat de N-voorziening niet beperkend is voor de groei. Aanleg van alle 4 de N-trappen in 1 herhaling met grote veldjes (24 m x 24 m). Daarnaast twee extra herhalingen met alleen N3 en N4 in kleinere veldjes (12 m x 12 m). Een voorbeeld proefveldschema (voor 1 ras) is gegeven in Figuur 4.4-1.

N3	N1	N4	N2	N3	N4
N4		N3			

Figuur 4.4-1 Voorbeeld proefveldschema.

Totale proefoppervlakte: 120 m x 24 m per ras

Uitvoering tusseñoogsten

Op 4 momenten wordt met de sensoren gemeten en per veldje een tusseñoogst uitgevoerd (8 veldjes per ras). Die momenten zijn (afhankelijk van pootmoment en ontwikkelingssnelheid):

- rond 1 juni (eind mei / begin juni), starten bij ca. 15 cm gewashoogte
- rond half juni
- rond 1 juli
- rond half juli (voordat het loof ineen zakt)

Resultaten veldproeven

Tijdstippen van poten en opkomst staan in Tabel 4.4-1. De tijdstippen van de tusseñoogsten staan in Tabel 4.4-2. Bij elke tusseñoogst is de verse massa van loof, stolonen+wortels en knollen afzonderlijk bepaald. Bij elk is het d.s.% en N-gehalte bepaald in submonsters. Vervolgens is de droge-stofmassa en de N-inhoud berekend. Te Wijnandsrade heeft het loof tussen de 1^e en 2^e tusseñoogst hagelschade opgelopen. Het heeft zich daarna weer hersteld, maar de resultaten van de proef kunnen hierdoor een afwijkend beeld laten zien door een niet-ongestoorte groei.

In Figuur 4.4-2 is de verdeling van N over de verschillende plantenonderdelen weergegeven per ras, N-object en tusseñoogst. Op alle vier de oogstmomenten zat het overgrote deel van de opgenomen stikstof nog in het loof.

Tabel 4.4-1 Locatie, ras, N-giften, poot- en opkomstdatums in 2016.

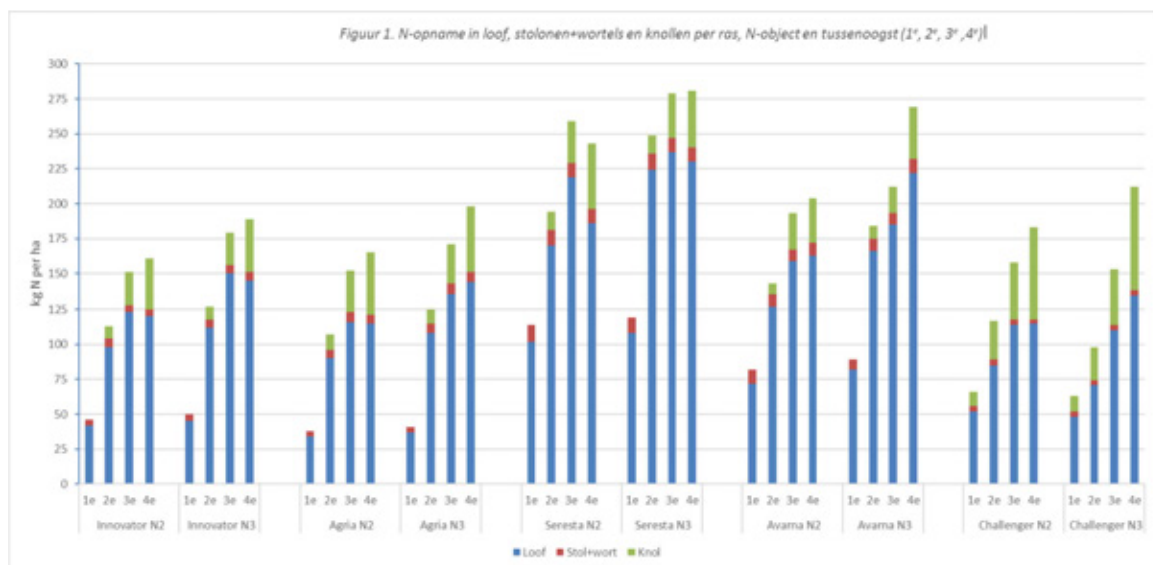
Locatie	Ras	Vroegrijpheidscijfer ¹	Teeltdoel	N-giften (kg N/ha) ²	Poten	Opkomst
Lelystad	Innovator	7,0	Consumptie	150 en 275	4-5-2016	2-6-2016
	Agria	5,5	Consumptie	150 en 225	4-5-2016	5-6-2016
Valtermond	Seresta	5,0	Zetmeel	150 en 225	3-5-2016	1-6-2016
	Avarna	3,5	Zetmeel	100 en 150	3-5-2016	1-6-2016
Wijnandsrade	Challenger	5,7?	Consumptie	150 en 250	21-4-2016	1-6-2016

¹ Referentie Bintje = 6,5.

² De N-giften waarbij de boven- en ondergrondse droge stof en N-inhoud is bepaald (N2 en N3). N2 is de basisgift die bij toepassing van een NBS zou zijn gehanteerd. N3 is de volledige praktijkgift.

Tabel 4.4-2 Tijdstippen van de tussenooosten in 2016.

Locatie	1e tussenooost	2e tussenooost	3e tussenooost	4e tussenooost
Lelystad	16-6-2016	28-6-2016	7-7-2016	14-7-2016
Valtermond	16-6-2016	28-6-2016	7-7-2016	14-7-2016
Wijnandsrade	23-6-2016	7-7-2016	13-7-2016	27-7-2016



Figuur 4.4-2 N-opname in loof, stolonen+wortels en knollen.

4.4.5.2 Verhouding boven/ondergrondse N

Een reflectiemeting is snel en veel goedkoper dan een destructieve meting en dus erg aantrekkelijk als middel bij de bijmest advisering. Echter, uit de aard van de zaak wordt een reflectiemeting alleen beïnvloed door het bovengrondse deel van het gewas. Er zijn drie methoden onderzocht om op basis van een reflectiemeting toch een uitspraak te kunnen doen over de totale (bovengronds + ondergronds) N-opname door het gewas.

1. Booij aanpak: verband tussen bovengronds en ondergronds zit impliciet in de curve WDVI → N-inhoud.
2. Fractie N in loof neemt af met de tijd (Greenwood *et al.*, 1985).
3. Gebruik gewasgroei-model om fractie-N-in-loof uit te rekenen in afhankelijkheid van ras, weer, bodem etc.

Booij-aanpak: In Figuur 4.4-3 wordt de vergelijking weergegeven die is opgesteld door Booij om de totale N opname rechtstreeks te bepalen uit een meting van WDVl:

$$N_{\text{totaal}}: \quad \begin{array}{ll} \text{if } (x < 0.40) & 1.88 + 209.5 * x \\ \text{else} & -239.6 + 810 * x \end{array}$$

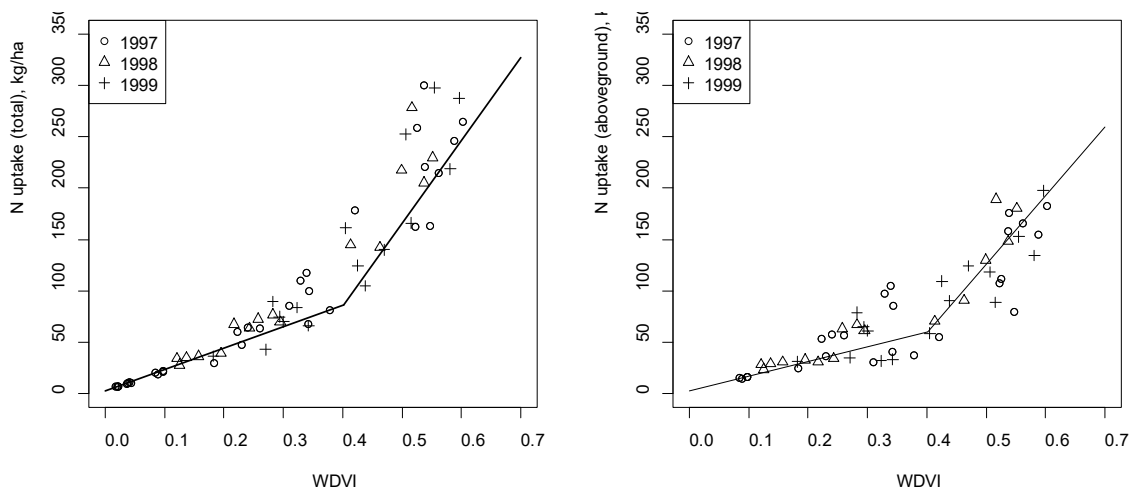
In Figuur 4.4-3 wordt eenzelfde soort vergelijking gegeven voor het verband tussen WDVl en bovengrondse N opname:

$$N_{\text{above-ground}}: \quad \begin{array}{ll} \text{if } (x < 0.40) & 1.88 + 144.5412 * x \\ \text{else} & -209.9564 + 671.3662 * x \end{array}$$

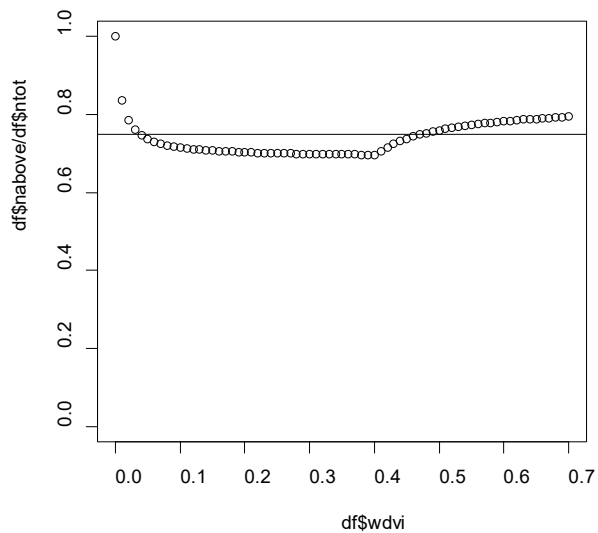
Als je $N_{\text{above-ground}}$ deelt door N_{tot} krijg je als (enigszins onverwacht) resultaat dat er over de hele lijn ongeveer 75% van de N in het loof zit (Figuur 4.4-4). Dit was overigens al eerder vastgesteld (Figuur 4.4-5) (Duisterwinkel, 2013).

Greenwood aanpak: levert erg veel ruis op (Figuur 4.4-6) en is daarom niet bruikbaar. Een groot bezwaar is dat deze aanpak erg uit de pas kan gaan lopen met de huidige NBS app.

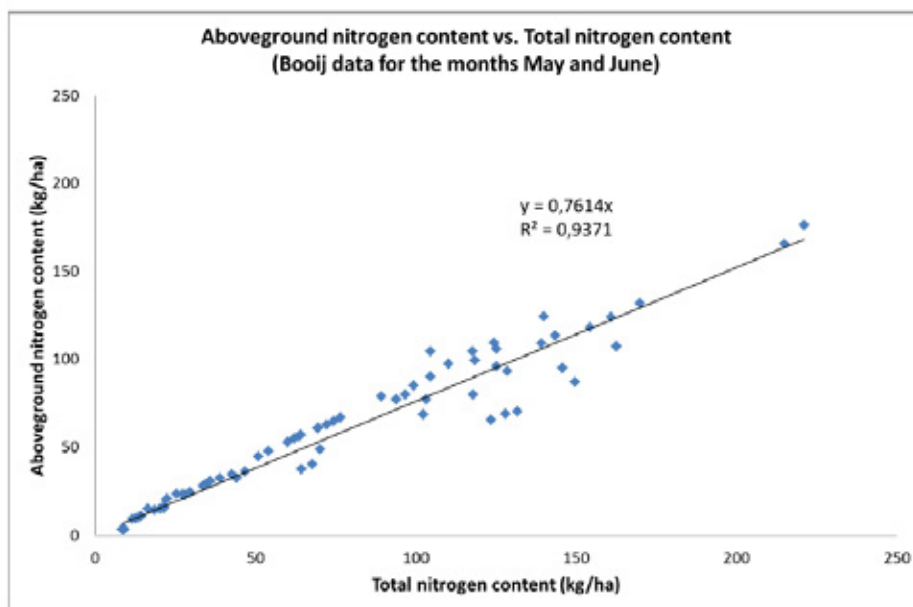
Gewasgroeimodel aanpak: we hebben het gewasgroeimodel Tipstar (Jansen, 2008) gebruikt. Dit levert goede resultaten op (Figuur 4.4-7). Echter, om het gedrag van verschillende rassen goed te kunnen simuleren zijn voor elk ras specifieke parameters nodig. Het is ondoenlijk om voor alle gebruikte aardappelrassen proefgegevens te vinden en deze parameters af te leiden. Er wordt nog gezocht naar een methode om aan de hand van het vroegrijpheidscijfer van een ras de waarden voor de meest belangrijke ras-specifieke modelparameters te kunnen schatten. Het gebruik van een gewasgroeimodel biedt perspectief maar is op dit moment nog niet praktisch te realiseren.



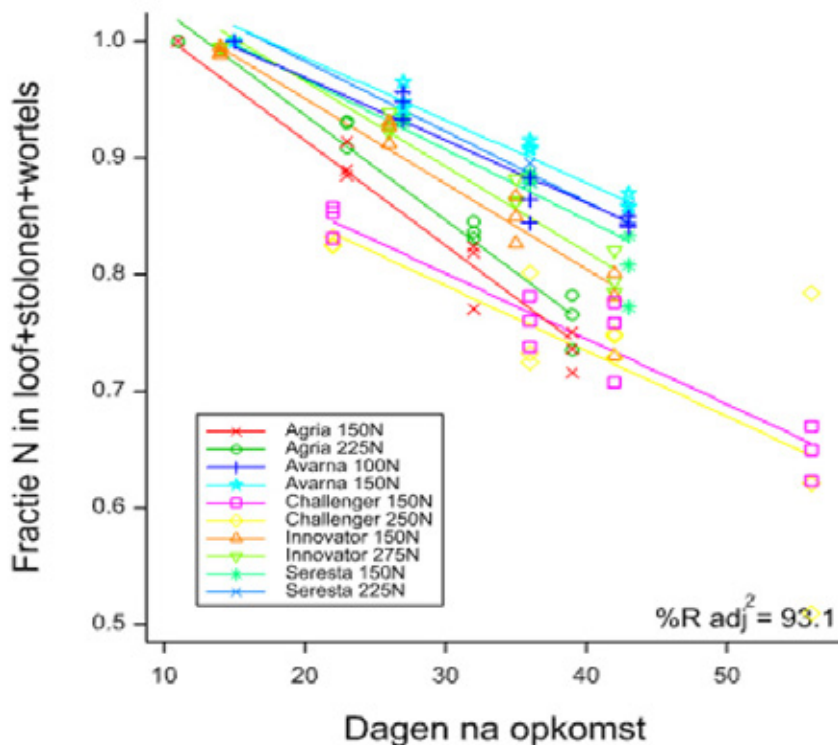
Figuur 4.4-3 Links: Totale N opname als functie van WDVl. Rechts: Bovengrondse N opname als functie van WDVl. In beide gevallen is de gebroken lijn met het oog gefit. Uit: Van Evert et al. (2012).



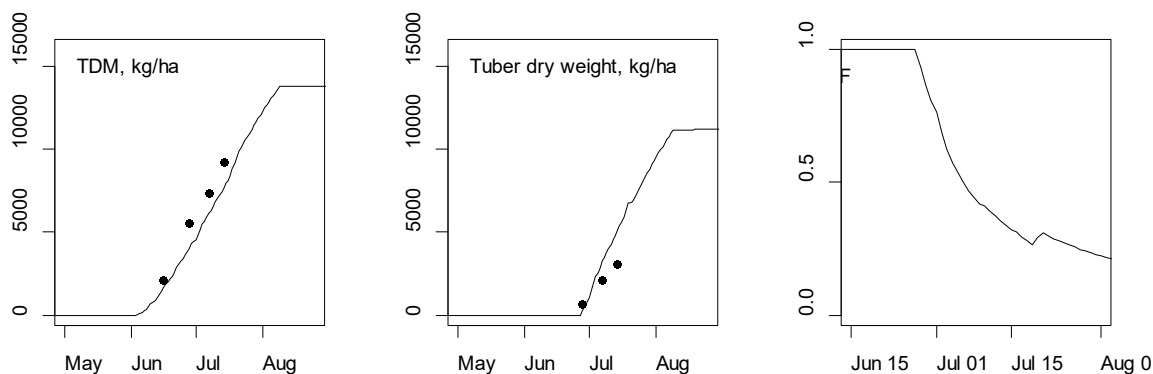
Figuur 4.4-4 Fractie N die in bovengrondse delen zit uitgezet tegen WDVI, afgeleid uit de Booij data (Van Evert et al., 2012). De horizontale lijn is getekend op 0.75.



Figuur 4.4-5 Overgenomen uit (Duisterwinkel, 2013).



Figuur 4.4-6 De fractie van de opgenomen N die niet in de knollen zit, neemt in de loop van de tijd af. Het verloop van de afname is afhankelijk van ras, jaar en N voorziening.



Figuur 4.4-7 Simulatie van de groei van aardappelen 2016 / Valthermond / Seresta / N3 (sufficient N). Links: totale drogestof opbrengst (Total Dry Matter). Midden: drogestof opbrengst knollen (Tuber dry weight). Rechts: fractie van totale N opname die in het loof zit.

4.4.5.3 Verband tussen waarde van vegetatie index en N opname door het gewas

Reflectiemetingen

In de proeven zijn reflectiemetingen zijn uitgevoerd met de volgende instrumenten.

- Cropsan
- Handyspec spectrometer ("tec5")
- Multispectrale camera Multispec-4C op een eBee drone ("M4C")

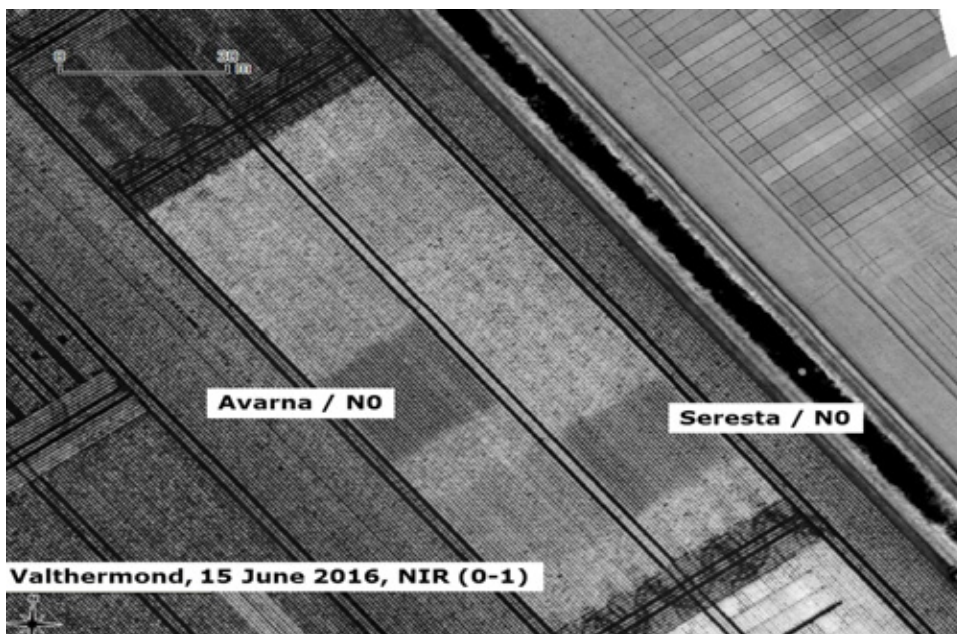
Metingen met de Cropsan en tec5 zijn steeds uitgevoerd op een veldje. Metingen met de M4C zijn per veldje uit het beeld geknipt en vervolgens is voor elke reflectieband een gemiddelde waarde per veldje berekend. Vegetatie indices zijn vervolgens berekend met de gemiddelde reflectiewaarden.

Alle reflectiemetingen zijn per veldje en datum steeds in één figuur gezet (voorbeeld in Figuur 4.4-11). De metingen met de tec5 in Valthermond op 14 juli 2016 zijn niet goed gegaan; de metingen van deze da zijn niet meegenomen in verdere analyse.

Calibratie platen zijn gebruikt om een beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van de M4C metingen (Figuur 4.4-10, Figuur 4.4-11). De metingen zijn betrouwbaar.

Reflecties gemeten met verschillende instrumenten zijn tegen elkaar uit gezet. Metingen met tec5 zijn beschikbaar in alle golflengtes; Cropscan en M4C meten in een beperkt aantal banden. Daarom is tec5 als referentie genomen.

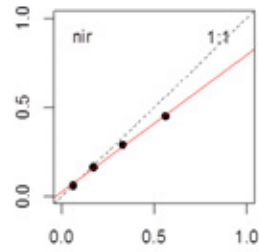
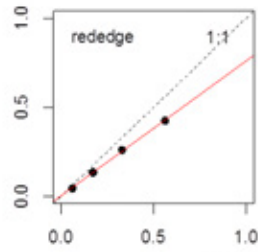
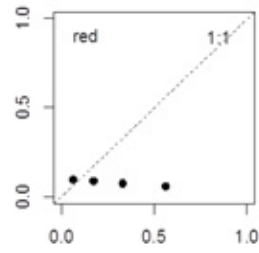
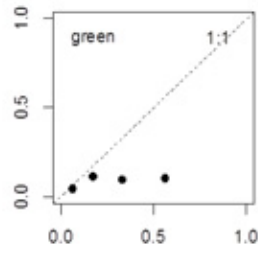
Metingen met de Cropscan en tec5 zijn weergegeven in Figuur 4.4-12. Er is in het algemeen een goede overeenkomst, maar Cropscan reflecties bij 720 en 730 nm zijn systematisch lager dan tec5. Metingen met M4C en tec5 zijn weergegeven in Figuur 4.4-13. Er is goede overeenkomst in de groene en rode banden. Bij 735 nm lijkt de onzekerheid van de M4C groot te zijn. Bij 790 nm is er een verschil tussen de metingen in Valthermond en Lelystad, wellicht omdat er verschillende operators en verschillende camera's gebruikt zijn. In Lelystad goede overeenkomst, maar in Valthermond zijn er per meetdatum flinke verschillen.



Figuur 4.4-8 Voorbeeld reflectiebeeld van UAV: Valthermond, 15 juni 2016, NIR band, scaled between 0 and 1.



multiSPEC

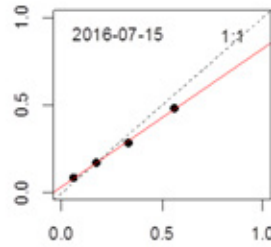
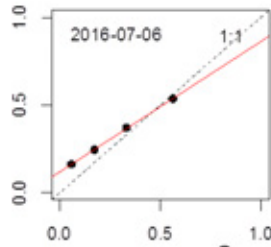
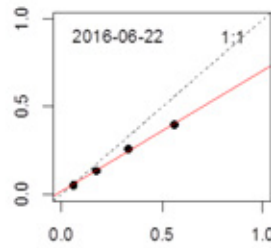
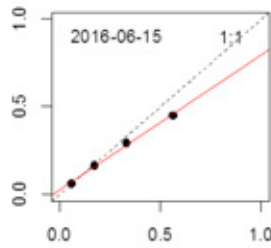


Cropscan

Figuur 4.4-9 Calibratie platen werden gebruikt ter controle van de UAV beelden.

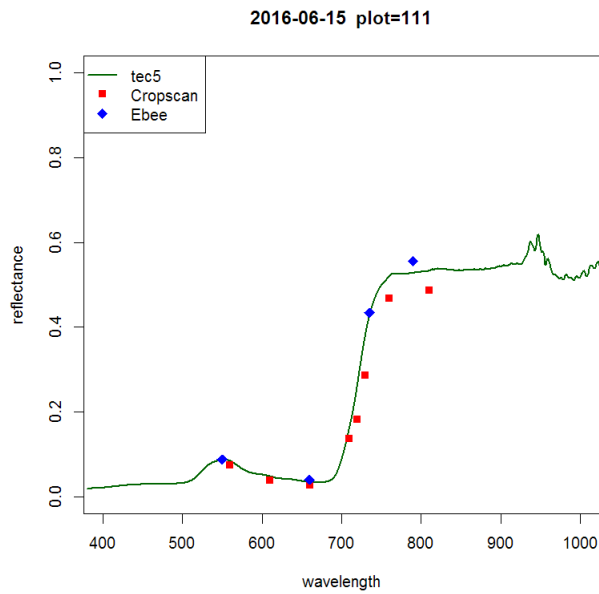


multiSPEC

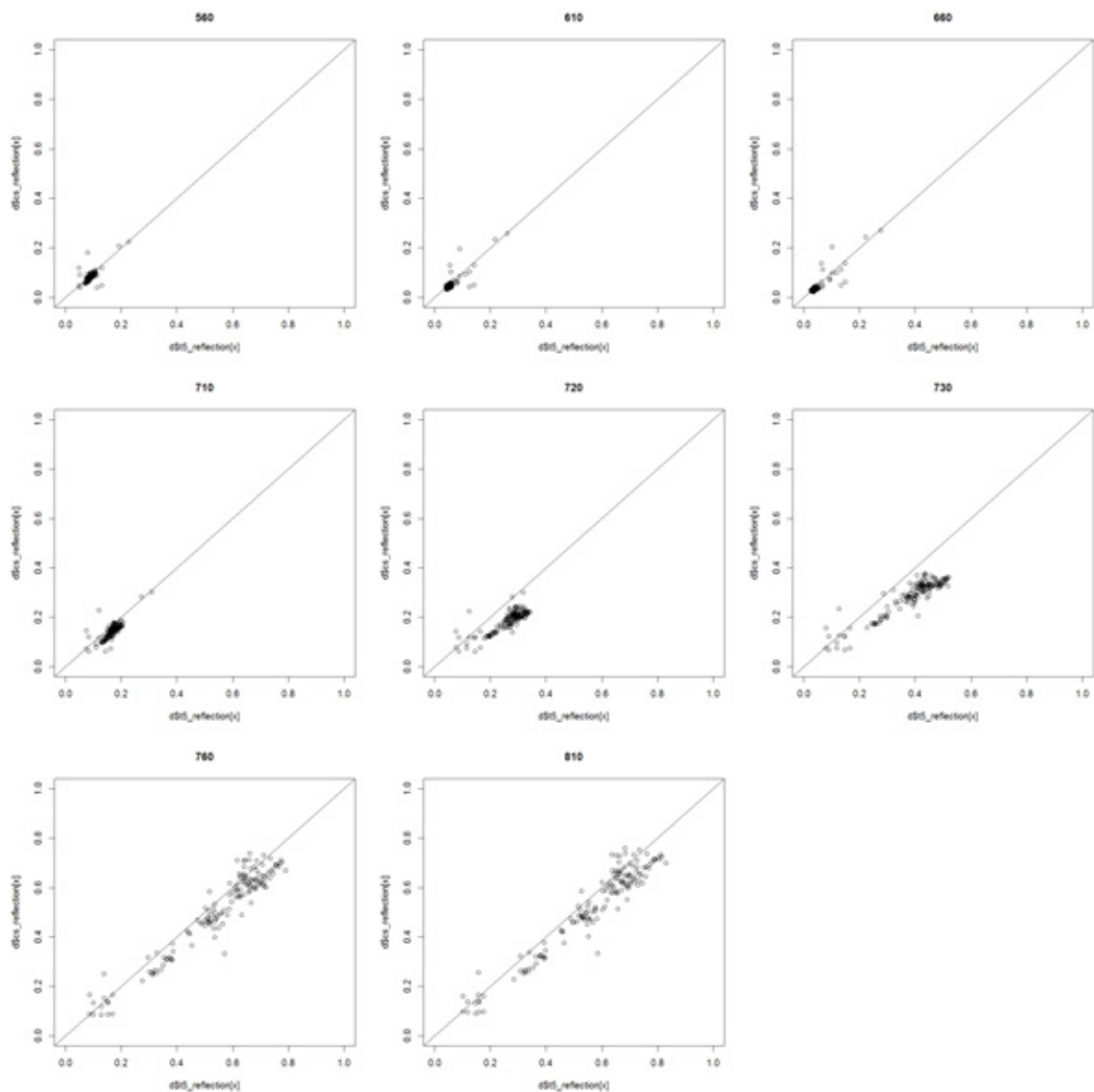


Cropscan

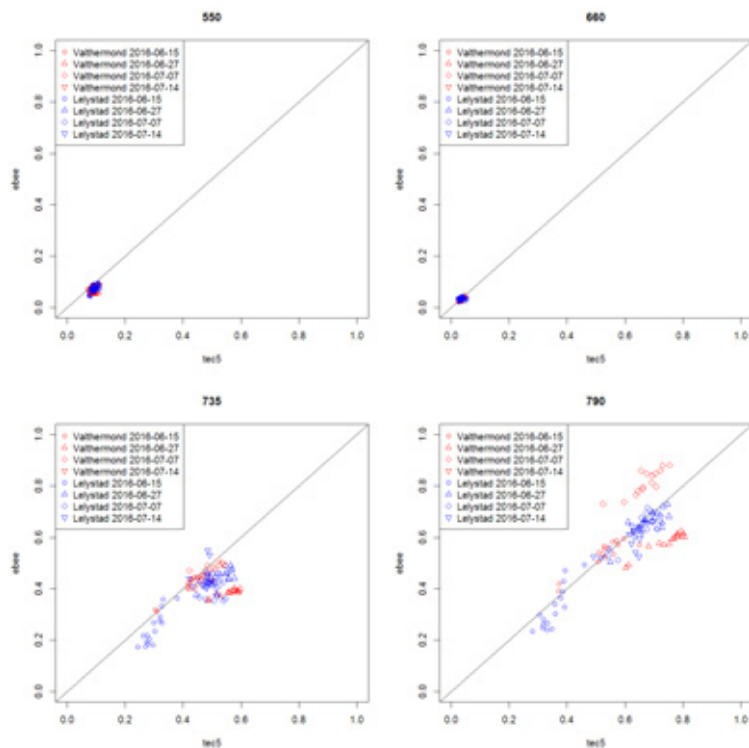
Figuur 4.4-10 Calibratie platen NIR op vier tijdstippen.



Figuur 4.4-11 Voorbeeld van reflectiemetingen met drie sensoren op één plaats en tijd.



Figuur 4.4-12 Vergelijking van reflectiemeting met tec5 (horizontale as) en Cropscan (verticale as). Golflengte staat boven elk paneel aangegeven.



Figuur 4.4-13 Vergelijking van reflectiemetingen met *tec5* (horizontale as) en *Multispec-4C* (verticale as). Golflengte staat boven elk paneel aangegeven.

Calibratie van vegetatie-indices

De bruikbaarheid van vegetatie indices WDI, NDRE en CI (Tabel 1.4-3) is onderzocht.

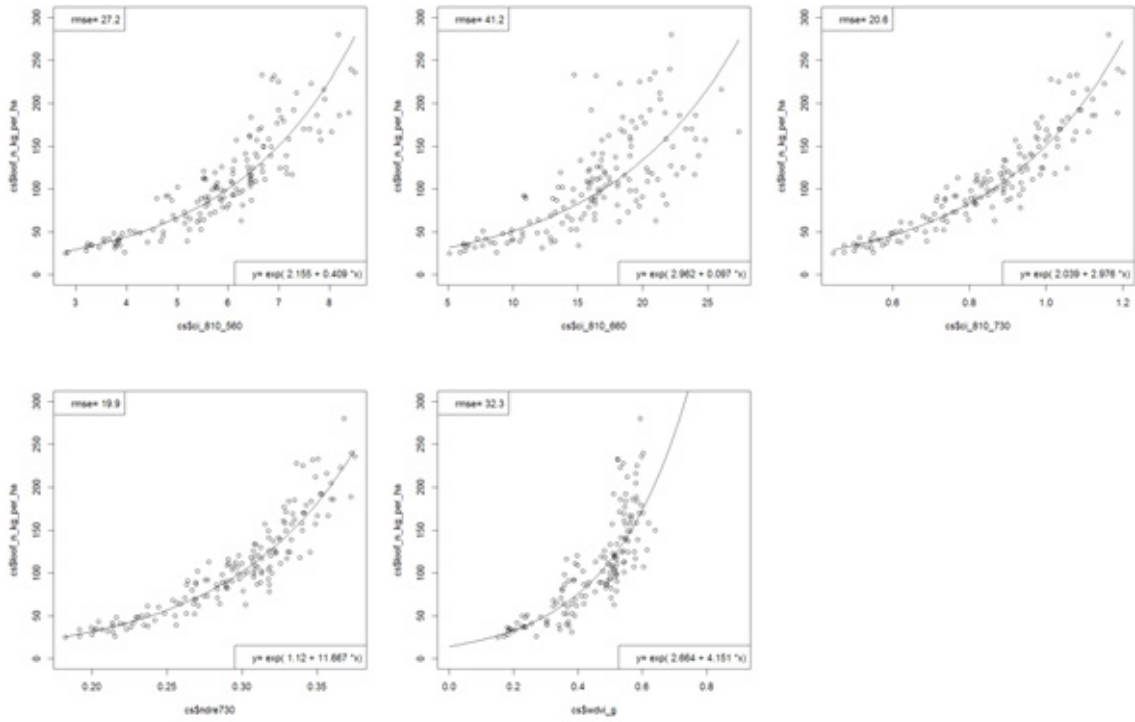
Cropscan: zie Figuur 4.4-14. Goede verbanden met CI(810,560), CI(810, 730), NDRE(810,730) en $WDVI_g$. Iets minder goed CI(810,660). Beste is CI(810, 730) en NDRE – deze twee indices gebruiken dezelfde twee banden.

tec5: zie Figuur 4.4-15. Goede verbanden met CI(790, 550) en CI(790, 730) en NDRE (790, 735). Iets minder goed met CI (790, 660) en $WDVI_g$. Net als met Cropscan zijn NDRE en CI (790, 730) het beste.

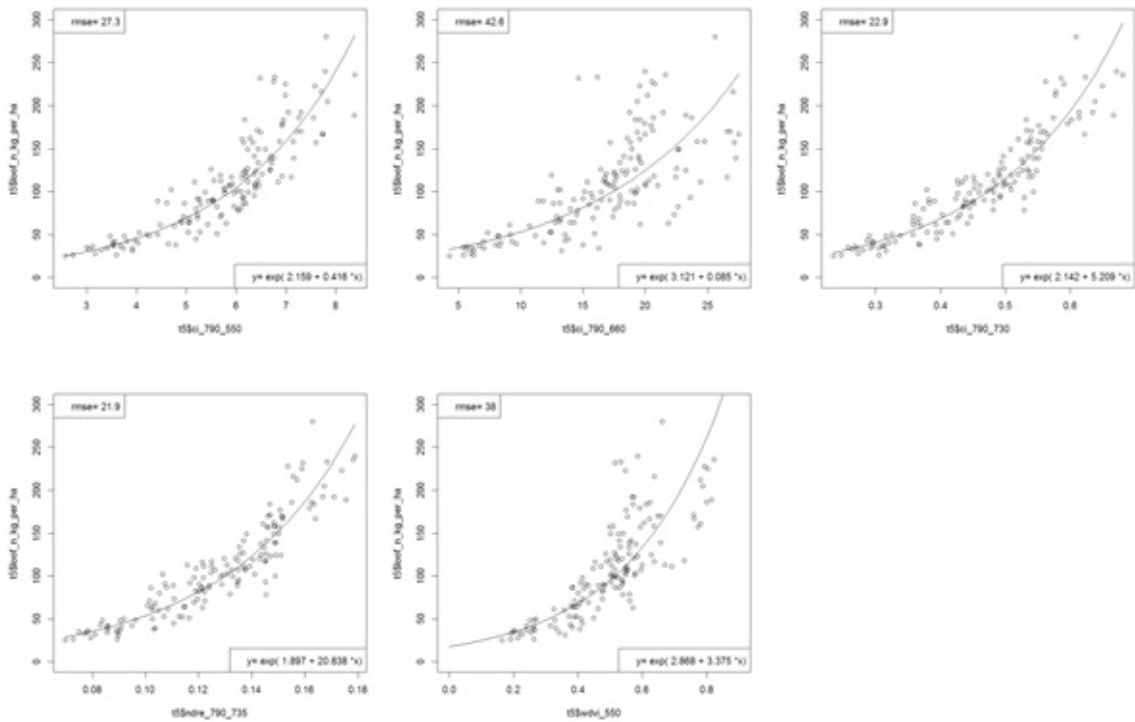
M4C: zie Figuur 4.4-16. De beste verbanden zijn minder goed dan de beste verbanden met de andere sensoren. CI(g) en CI(r) zijn redelijk goed. NDRE en WDI zijn minder.

Tabel 4.4-3 De gebruikte vegetatie indices.

Vegetation index	Reference	Comments
NDRE	(Gitelson & Merzlyak, 1994)	
CI	(Gitelson & Merzlyak, 1994, Gitelson <i>et al.</i> , 2003, Gitelson <i>et al.</i> , 2005)	The term “-1” is soil factor but is typically not adjusted
WDVI	(Clevers, 1989)	WDVI heeft bodemcorrectie nodig die in de praktijk lastig te bepalen is. Uitwijk: gebruik vaste factoren voor zand (1.7) en klei (1.3).

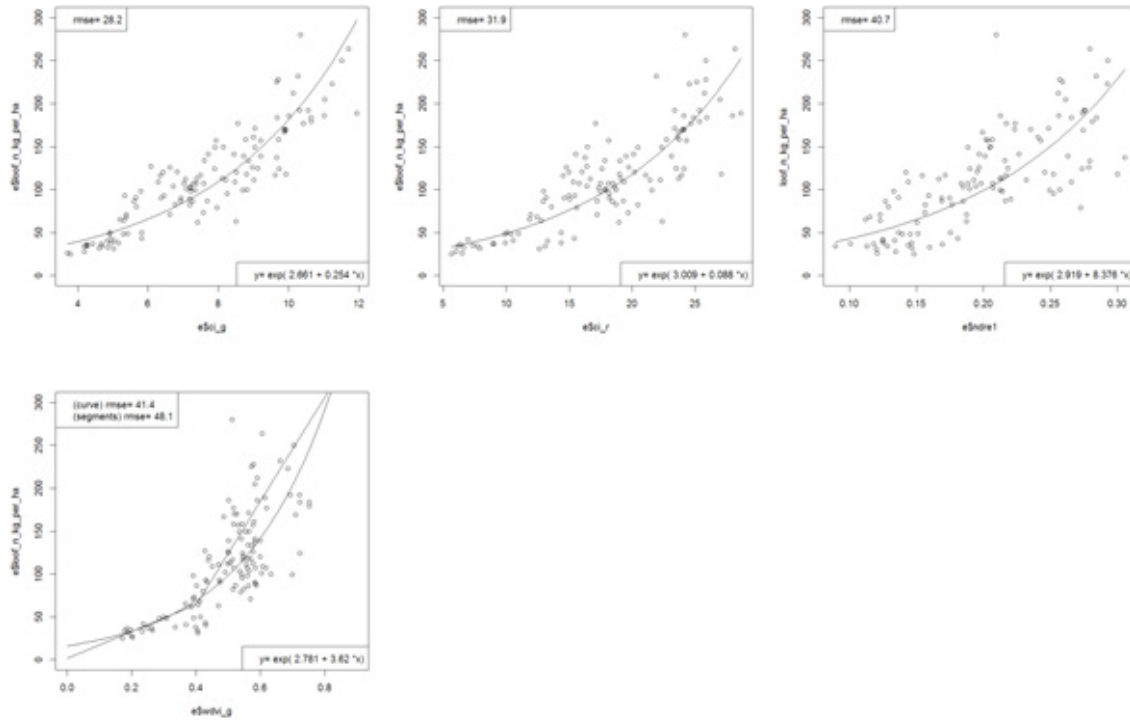


Figuur 4.4-14 Cropscan: verband tussen een aantal VIs en bovengrondse N inhoud.



Figuur 4.4-15 Tec5: verband tussen een aantal VIs en bovengrondse N inhoud.

eBee



Figuur 4.4-16 eBee: verband tussen een aantal VIs en bovengrondse N inhoud.

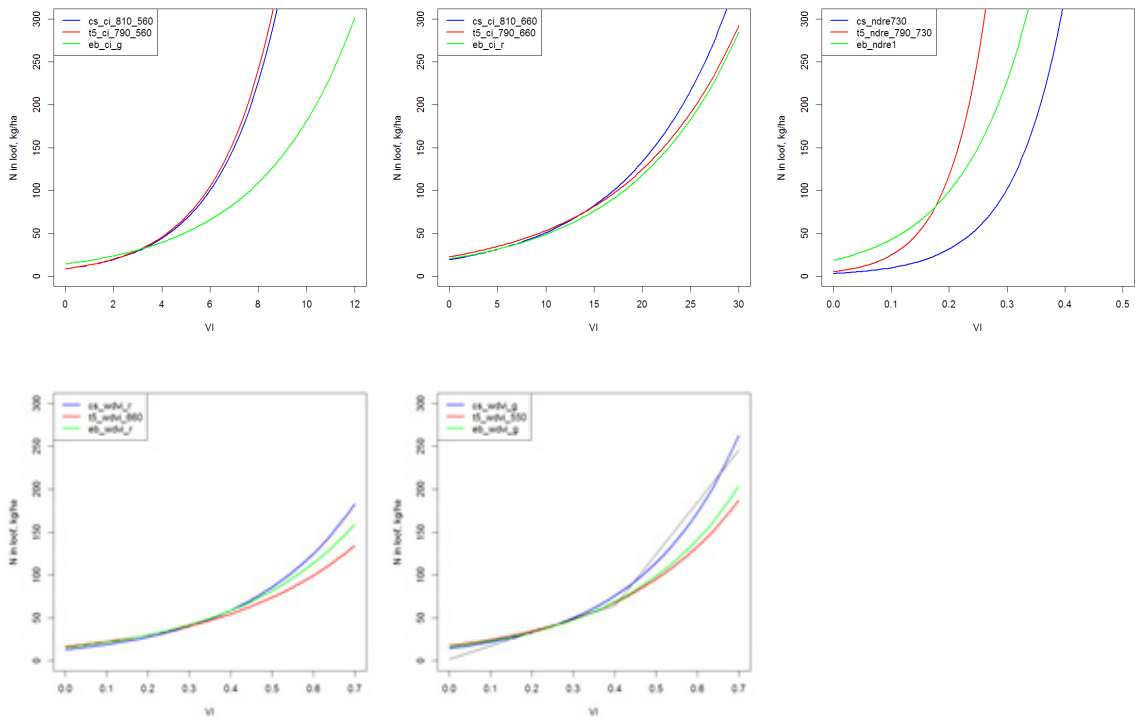
Calibratie: cross-checks

Is calibratie-curve gebaseerd op tec5 data of cropscan data ook rechtstreeks bruikbaar op ebee data. Zie Figuur 4.4-17.

CI(560): M4C wijkt af van cropscan en tec5.

CI(660) komt goed overeen voor alle drie sensoren.

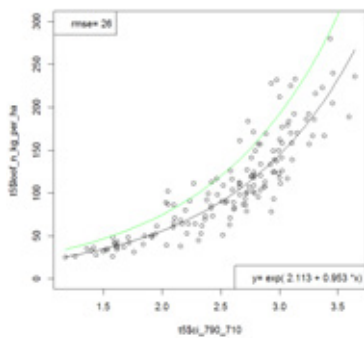
NDRE(730): verschillen tussen drie sensoren. Wat betreft Cropscan en tec5 weten we dat de Cropscan lagere reflecties geeft in 730 nm dan tec5 (Figuur 4.4-12). Als gevolg hiervan is de met Cropscan gemeten NDRE hoger dan die met tec5. Dit verklaart het verschil. Wat betreft M4C en tec5 is geen duidelijke reden aan te wijzen, behalve dat de reflectiemeting in 735 met M4C niet heel nauwkeurig lijkt te zijn (Figuur 4.4-13).



Figuur 4.4-17 Onderlinge vergelijking van de calibratiecurves die per sensor zijn bepaald. In het rechterplaatje is de "broken-stick" relatie van Booij weergegeven onder de aanname dat in dit groeistadium 75% van de totale N in het loof zit.

Calibratie: vergelijking met literatuur

Het hierboven gevonden verband tussen CI(790,710) en N-inhoud van het loof wordt in Figuur 4.4-18 vergeleken met de literatuur.



Figuur 4.4-18 Ter vergelijking (in groen) de curve gegeven door (Clevers & Kooistra, 2012).

4.4.5.4 Mogelijke toepassing van NBS in de pootgoedteelt

Er is meerdere malen gevraagd of NBS ook in de pootgoedteelt toegepast kan worden en zo ja, wat zijn dan de specifieke rekenregels. In het onderstaande wordt eerst de huidige praktijk van N bemesting in poot aardappelen beschreven en aan de hand daarvan wordt ingegaan op de vraag of NBS voor poot aardappelen geschikt is.

Huidige praktijk

Het huidige advies voor het bemesten van poot aardappelen is:

$$N_{gift} = 140 - 0.6 \cdot N_{\min}$$

De bemesting kan in één keer toegediend worden. Het kan ook als 50-70 kg basisbemesting gevolgd door tot zes maal 10 kg (vloeibaar) bij te mesten. Het voordeel van deling en bijbemesting is dat de N-gift nauwkeuriger kan worden afgestemd op de behoefte van het gewas.

In pootaardappelen gaat het erom de beschikbaarheid van N krap te houden. Door beperkte beschikbaarheid van N

1. Wordt beoogd de knolvorming te vervroegen
2. Blijft de loofgroei beperkt en dan is er bij doodspuiten niet een nog heel groen gewas met onrijpe (slecht gevulde) knollen

Huidige kennis over invloed van N op pootaardappelen

Vaak wordt gezegd dat hoge N-giften de knolaanleg verlaten, maar in feite vertragen ze alleen de knolgroei - het moment van knolaanleg is gelijk bij hoge of lage N-gift (Beukema & van der Zaag, 1990). Enkel verschilt de distributie van droge stof over loof en knollen: bij de hoge N-gift gaat er minder naar de knollen dan naar het loof, maar omdat het gewas bij hoge N-gift later afrijpt c.q. een langere groeiperiode heeft, wordt de achterstand in knolgroei aan het eind van de groeiperiode ingehaald en komt de knolopbrengst hoger uit, mits het gewas kan uitgroeien. Maar als het voortijdig wordt geoogst, staat de knolproductie nog op achterstand.

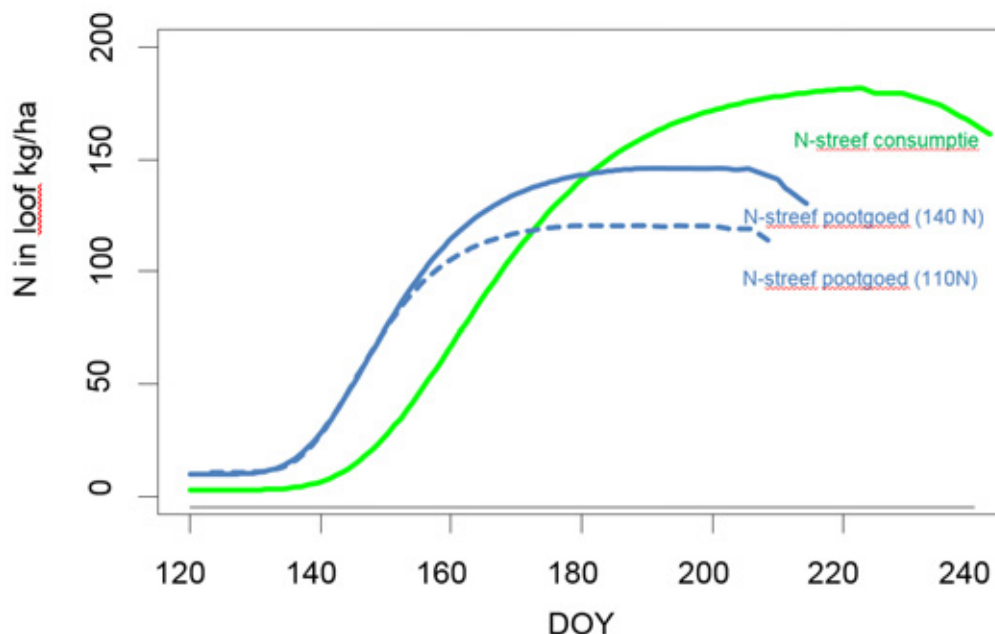
Dit effect van N komt overeen met dat van vroegrijpheid tussen rassen. Vroeg-rijpende rassen ontwikkelen minder loof dan laat-rijpende rassen en sturen meer droge stof naar de knollen. Maar omdat laat-rijpende rassen een langere groeiperiode hebben, behalen ze een gelijke tot hogere opbrengst. Dus een hoge N-gift stuurt het gewas in de richting van een laat-rijpend type.

Uit diverse N-trappenproeven met aardappel komt in het traject met giften tussen 0 en 150 kg N per ha geen duidelijk effect naar voren op het knolaantal (interne gegevens Praktijkonderzoek AGV). Cruciale factoren voor het aantal knollen dat wordt gezet en blijft behouden zijn dat er geen fosfaatgebrek optreedt en dat er in de periode van knolvorming ruim voldoende vocht beschikbaar is. Na opkomst moet de loofgroei ook weer niet beperkt worden door N, want je wilt licht onderscheppen en biomassa produceren. In die zin zou de optimale N opname curve van een gewas pootaardappelen in pakweg de eerste 6 weken na opkomst niet af moeten wijken van de optimale N opname curve van een gewas consumptieaardappelen (Figuur 4.4-19).

Het idee bestaat dat basisbemesting met b.v. 30, 60 en 90 kg in het begin tot dezelfde groeicurve leidt. Hoe minder N, hoe eerder de groei afneemt, en hoe lager de uiteindelijke N opname zal zijn (Figuur 4.4-19). Dit idee wordt bevestigd door de waarnemingen die in 2016 bij Agrofutur telers zijn gedaan. De groeicurve van pootgoed zal in het begin iets steiler lopen dan bij consumptie of zetmeel omdat in pootgoedteelt een groter aantal knollen gepoot wordt. Daarmee wordt een snellere grondbedekking bereikt en is de initiële hoeveelheid biomassa groter, en ook het initiële bladoppervlak. Het afbuigen van de groeicurve zoals hierboven bedoeld, kan in principe met reflectiemetingen worden waargenomen. Het is niet zeker dat deze metingen voldoende nauwkeurig zijn om bij te sturen met de nauwkeurigheid die door pootgoedtelers wordt gewenst. Vanwege lagere bemesting zal de piek stikstofopname (N_{max}) lager zijn, lager dan bij consumptie. Als het gewas gesloten is, gaat het erom het loof groen te houden zonder de loofgroei teveel te stimuleren. Bijmesten met kleine hoeveelheden N is hiervoor geschikt. Reflectiemetingen zijn wellicht minder geschikt om in dit stadium de groenheid van het gewas te volgen. Het gaat om kleine verschillen en het is zeer de vraag of reflectiemetingen die kunnen oppikken.

Sowieso is de vraag of een streef-N-opnamecurve zoals die voor consumptie- en zetmeelaardappel wordt gebruikt, voor pootaardappel een geschikt criterium is om op te sturen of dat naar andere criteria moet worden gezocht. Het succes van de teelt hangt vooral af van het aantal aangelegde knollen. De knolaanleg wordt sterk beïnvloed door de vochtvoorziening op het moment van knolaanleg. Het lijkt voor de hand te liggen om het aantal knollen te tellen op het moment dat de knolaanleg zo goed als klaar is. Het aantal knollen en de gewenste maat geeft dan aan hoeveel ton knollen er geproduceerd moet worden. Aan de hand daarvan kan vervolgens de N behoefte van het gewas berekend worden.

De conclusie is dat toepassing van NBS in de teelt van pootgoedaardappelen niet voor de hand ligt.



Figuur 4.4-19 Geïdealiseerde N-opname curves voor consumptie en pootgoed.

4.4.5.5 Samenvatting NBS

Het bijmeststelsel is in 1996-2000 ontwikkeld voor Bintje op zand door Booij *et al.* (2001) en later in detail beschreven door Van Evert *et al.* (2012). Daarna is het stelsel getest op meerdere locaties en met meerdere consumptie- en zetmeel-rassen. De resultaten van deze tests zijn samengevat in Tabel 4.4-4.

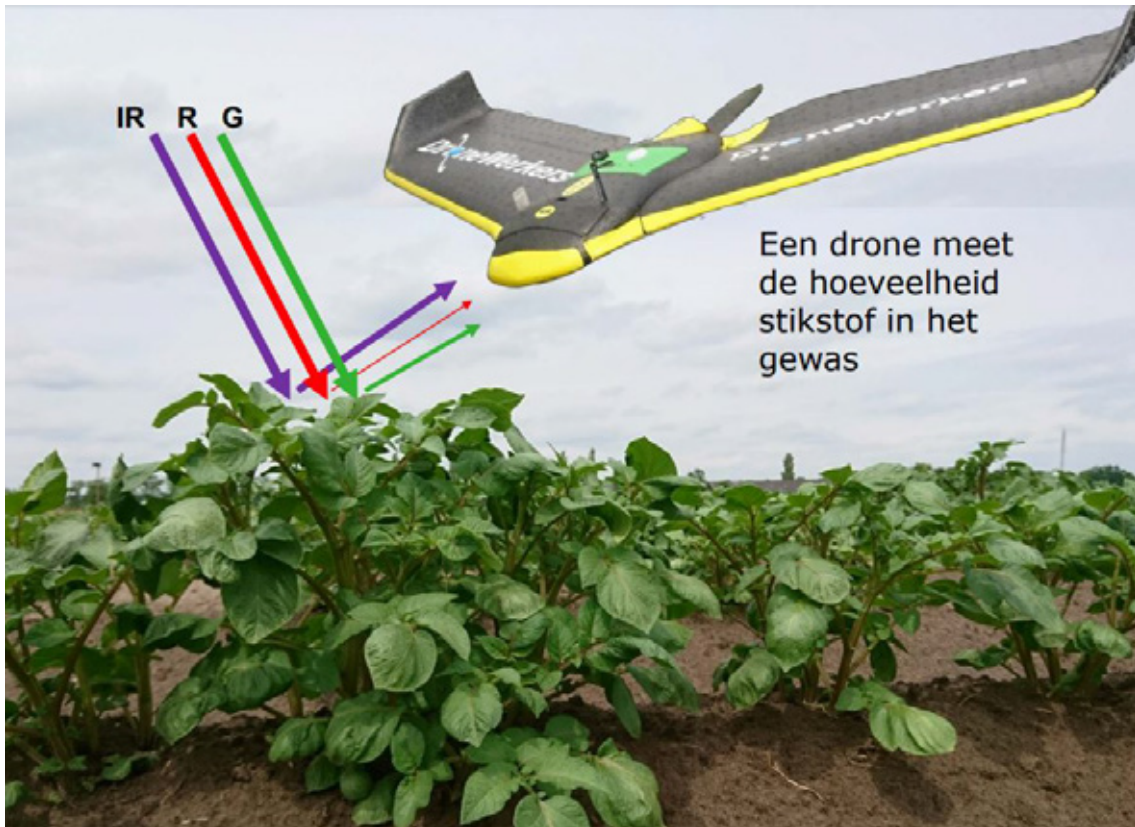
Tabel 4.4-4 Resultaten van tests van het stikstofbijmeststelsel. Sommige opbrengsten bij adviesgift zijn via interpolatie berekend. Opbrengsten op één regel zijn alleen statistisch verschillend als er een 'j' in kolom "Significant" staat.

Jaar	Plaats	Bodem	Ras	Gebruik	N-gift		Opbrengst (t/ha)		Zetmeel (t/ha)		Sign.	Ref.
					Advies	Bijmesten	Advies	Bijmesten	Advies	Bijmesten		
2002	Colijnsplaat	Klei	Agria	Cons.	80+54	80+0	62.5	60.8				1,2
2002	Colijnsplaat	Klei	Felsina	Cons.	131+88	131+0	49.5	48.5				1,2
2003	Colijnsplaat	Klei	Agria	Cons.	102+68	102+60	57.5	51.8			j	1,3
2003	Colijnsplaat	Klei	Felsina	Cons.	141+94	141+35	44.9	43.2				1,3
2002	Rolde	Zand	Seresta	Zetmeel	225	150+30	54.6	55.3	12.2	12.4		1,4
2002	Rolde	Zand	Mercator	Zetmeel	155	120+20	53.2	53.9	11.3	11.5		1,4
2003	Rolde	Zand	Seresta	Zetmeel	250	115+70	52.1	51.4	11.1	10.9		1,4
2003	Rolde	Zand	Mercator	Zetmeel	185	90+70	49.3	55.2	9.9	11.4	j	1,4
2010	Valthermond	Zand	Seresta	Zetmeel	225	175+100	47.8	48.5	10.0	10.2		5
2010	Colijnsplaat	Klei	Victoria	Cons.	250	150+50	44.4	46.8				5
2011	Valthermond	Zand	Seresta	Zetmeel	120+60	120+45	46.6	49.1	10.3	10.5		6
2011	Reusel	Zand	Fontane	Cons.	165	219+54	78.6	87.2			j	6
2011	Reusel	Zand	Fontane	Cons.	229	229+27	91.4	100.9			j	6
2011	Biddinghuizen	Klei	Milva	Cons.	150+54	150+54	70.9	71.0				6
2012	Vredepeel	Zand	Fontane	Cons.	266	145+90	78.0	78.8				7
2012	Hulsberg	Löss	Fontane	Cons.	182	150+0	63.5	62.2				7
2013	Vredepeel	Zand	Fontane	Cons.	287	150+53	70.6	69.5				7
2013	Hulsberg	Löss	Fontane	Cons.	171	150+59	58.3	61.9				7
2014	Valthermond	Zand	Seresta	Zetmeel	205	205+50	49.6	49.9	10.9	10.7		8

¹ Van Evert *et al.* (2012). ² Slabbekoorn (2002). ³ Slabbekoorn (2003). ⁴ Van Geel *et al.* (2004). ⁵ Van Evert *et al.* (2011). ⁶ Van der Schans (2012). ⁷ Van Geel *et al.* (2014). ⁸ Van Geel and Van der Schans (2015).

4.4.5.6 NBS app op Akkerweb

De rekenregels m.b.t. N-bijmesten zijn geïmplementeerd in de NBS (**N** Bijmest **S**ysteem) app op Akkerweb. Met de app kan een drone beeld besteld worden bij de loonwerker. De loonwerker laat dan een drone vliegen om N-opname van het gewas te meten (Figuur 4.4-20). Aan de hand van dit beeld kan de N opname kaart worden gemaakt (Figuur 4.4-21). Ras, pootdatum, streefopbrengst en actuele weergegevens worden meegenomen bij het omrekenen van N-opname naar de behoefte aan bijmest (Figuur 4.4-22). Als vervolgens een keuze is gemaakt voor de te gebruiken meststof, dan kan de strooikaar berekend worden (Figuur 4.4-23). De NBS app is in de loop van het project zodanig aangepast dat deze nu ook overweg kan met drone-beelden die vele honderden MBs groot zijn.



Figuur 4.4-20 Een drone meet de hoeveelheid stikstof in het gewas.



Figuur 4.4-21 Het dronebeeld laat zien dat in dit perceel de N-opname sterk varieert.



Figuur 4.4-22 Akkerweb zorgt voor een kaart met het advies voor de bijmestgift.



Figuur 4.4-23 Akkerweb maakt ook een strooikaart voor de board-computer van de trekker waarmee de kunstmeststrooier aangestuurd wordt.

4.4.5.7 Dataset voor later gebruik in modelverbetering

De in de veldproeven verzamelde data zullen in de toekomst gebruikt worden om de gewasgroei-modellen te verbeteren.

4.4.6 Valorisatie

NBS leidt tot N-besparingen van gemiddeld 40 kg N/ha (Van Evert *et al.*, 2012) ofwel € 38 per hectare. Daar staat tegenover dat er kosten verbonden zijn aan het (laten) maken van een biomassa-kaart waardoor slechts een klein financieel voordeel overblijft (Van Evert *et al.*, 2017). De bespaarde stikstof kan ingezet worden bij een ander gewas op het bedrijf om daar de opbrengst te verhogen. De winst daar is waarschijnlijk hoger dan die door de besparing. De NBS app op Akkerweb is tegen betaling beschikbaar voor alle telers.

4.4.7 Conclusie en aanbevelingen

Conclusies

N-opname: de totale N-opname kan het best geschat worden door aan te nemen dat 75% van de opgenomen N in het loof zit:

$$N_{\text{totaal}} = N_{\text{loof}} / 0.75$$

Reflectie-meting: Het beste resultaat wordt in principe verkregen met NDRE (met tec5: RMSE = 21.7; met CropScan: RMSE = 19.5). Echter, meting van R_{735} door de M4C is niet erg nauwkeurig, dus dit is af te raden.

CI met R_{660} geeft de meest consistente resultaten met alle drie sensoren. Dit is dus de beste index om in dit geval te gebruiken (RMSE = 31.9 kg/ha)

$$N_{\text{loof}} = e^{3.009 + 0.088 * x}$$

WDVI_g kan gebruikt worden. De eerste mogelijkheid is met nieuwe calibratiecurve. In dat geval RMSE = 41.4 kg/ha.

$$N_{\text{loof}} = e^{2.781 + 3.62 * x}$$

De tweede mogelijkheid is met de originele formule van Booij (aangepast voor alleen bovengronds). In dat geval RMSE = 48.1 kg/ha.

$$N_{\text{loof}} = \begin{cases} \text{if } (x < 0.40) & 1.88 & + 144.5412 * x \\ \text{else} & -209.9564 & + 671.3662 * x \end{cases}$$

Aanbevelingen

- Verbetering van gewasgroeimodellering om adviezen verder aan te scherpen, o.a. nieuwe methoden om gewasgroei modellen te calibreren voor individuele praktijkpercelen.

4.4.8 Literatuurlijst

Referenties

- Beukema HP & van der Zaag DE (1990) *Introduction to potato production*. Pudoc, Wageningen.
- Booij R, Uenk D, Lokhorst C & Sonneveld C (2001) Monitoring crop nitrogen status in potatoes, using crop light reflection. In: *Proceedings of the Third European Conference on Precision Agriculture*. (eds G Grenier & S Blackmore), 893–899., Montpellier, France.
- Clevers J & Kooistra L (2012) Using Hyperspectral Remote Sensing Data for Retrieving Canopy Chlorophyll and Nitrogen Content. *Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 5, 574-583.
- Clevers JGPW (1989) The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf-area index by correcting for soil-moisture. *Remote Sensing of Environment* 29, 25-37.
- Duisterwinkel MHP (2013) *Nitrogen sidedressing in seed potatoes on the basis of reflectance measurements and an advice system*.
- Gitelson A & Merzlyak MN (1994) Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 22, 247-252.
- Gitelson AA, Vina A, Arkebauer TJ, Rundquist DC, Keydan G & Leavitt B (2003) Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters* 30.
- Gitelson AA, Vina A, Ciganda V, Rundquist DC & Arkebauer TJ (2005) Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters* 32.
- Greenwood DJ, Neeteson JJ & Draycott A (1985) Response of Potatoes To N-Fertilizer - Quantitative Relations for Components of Growth. *Plant and Soil* 85, 163-183.
- Jansen DM (2008) *Beschrijving van TIPSTAR : hét simulatiemodel voor groei en productie van zetmeelaardappelen*. Nota 547. Available online at <http://edepot.wur.nl/27135>. Plant Research International, Wageningen.
- Slabbekoorn H (2002) *Stikstofbijmestsystemen in consumptieaardappelen, 2002 = N sidedress systems in ware potatoes, 2002*. WUR-PPO, Westmaas.
- Slabbekoorn H (2003) *Stikstofbijmestsystemen in consumptieaardappelen, 2003 = N sidedress systems in ware potatoes, 2003*. WUR-PPO, Westmaas.

- Van der Schans DA (2012) *Sensorgestuurde advisering van stikstof bijbemesting in aardappel : implementatie en integratie*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrond[s]groenten, Lelystad.
- Van Evert FK, Booij R, Jukema JN *et al.* (2012) Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. *European Journal Of Agronomy* 43, 58-67.
- Van Evert FK, Gaitán-Cremaschi D, Fountas S & Kempenaar C (2017) Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? *Sustainability* 9.
- Van Evert FK, Van der Schans DA, Malda JT, Van den Berg W, Van Geel WCA & Jukema JN (2011) *Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen: Integratie van sensormetingen in een N-bijmeststelsel*. PPO Rapport 423. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Lelystad.
- Van Geel WCA, Kroonen-Backbier BMA, Van der Schans DA & Malda JT (2014) Nieuwe bijmeststelsels en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 2: resultaten veldproeven 2012 en 2013. 66. PPO-AGV, Lelystad.
- Van Geel WCA & Van der Schans DA (2015) *Toepassing van NBS-aardappelsensing in de teelt van zetmeelaardappelen: ijkakker, veldproef 2014 't Kompas*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR, Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondgroenten, Wageningen.
- Van Geel WCA, Wijnholds KH & Grashoff C (2004) *Ontwikkeling van geleide bemestingssystemen bij de teelt van zetmeelaardappelen 2002-2003 = Development of guided fertilization for starch potatoes in 2002-2003*. WUR-PPO, Lelystad.
- Vos J (1999) Split nitrogen application in potato: effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the soil nitrogen budget. *Journal Of Agricultural Science* 133, 263-274.

Deelprojectoutput

- Booij, J. A., Van Evert, F. K., van Geel, W. C. A., Kroonen-Backbier, B. M. A., & Kempenaar, C. (2017). Roll-out of online application for N sidedress recommendations in potato. Available online at <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/445495>. Paper presented at the EFITA, Montpellier.
- Kempenaar C, Been Th, van Evert FK, Kocks CG, 2017. Advances in variable rate technology application in potato in The Netherlands. Key note and Abstract of 2017 EAPR Congress, Versailles, France, 09.07-14.07.2017, <http://www.eapr2017.com>.
- Kempenaar, C., Booij, J.A., van Evert, F.K., Kocks, C.G. 2017. Crop sensing and phenotyping for precision agriculture. Key note and abstract at 2017 Agbio2017, Bangkok, Thailand, March 2017. <http://agbio2017.com/wp-content/uploads/2016/12/Abstract-Kempenaar-et-al.pdf>.
- Booij JA, van Evert, FK, 2017. Stikstof-bijbemesting in aardappelen op basis van reflectiemetingen. 12 januari 2017, Triferto bijeenkomst.
- Van Evert, F.K., Baron, F.-J., Booij, J. A., Meurs, B., Oort, P. A. J. v., & Kempenaar, C. (2018). Improving the Simulation of Crop Growth in Commercial Growers' Fields Using Soil Scans, Remote Sensing Imagery and Yield Monitor Data. Paper presented at the 2018 ASA and CSSA Meeting, Baltimore, MD. <https://scisoc.confex.com/scisoc/2018am/meetingapp.cgi/Paper/111741>
- Kempenaar, C., van Evert, F.K., Been, Th., Kocks, C.G., Westerdijk, C.E., 2016. Towards data-intensive, more sustainable farming: advances in predicting crop growth and use of variable rate technology in arable crops in the Netherlands. Paper in Proceedings of ICPA conference, St. Louis, USA, 31 July 2016. <https://www.ispag.org/Proceedings>.
- Kempenaar, C., Been, T., Booij, J., van Evert, F., Michielsen, J.-M., & Kocks, C. (2018). Advances in Variable Rate Technology Application in Potato in The Netherlands. [journal article]. *Potato Research*. doi: 10.1007/s11540-018-9357-4
- Van Evert, F.K., 2017. Stikstof-bijbemesting in aardappelen op basis van reflectiemetingen. 2 februari 2017, CBAV dag, Nijkerk.
- Van Evert, F.K., Been, TH., Berghuijs, H.N.C., A.J. Haverkort, C. Kempenaar, G.J.T. Kessel, E.J.J. Meurs, L.P.G. Molendijk, A.A. Pronk, D.A. van der Schans, W.C.A. van Geel, J.A. Booij, 2016. The Akkerweb platform: models and data to support precision farming. <http://www.agmip.org/6th-agmip-global-workshop-abstracts-session2-8/>
- Van Evert, F.K., Meurs, E.J.J., Van der Schans, D., Booij, J.A., Van Geel, W.C.A., & Kempenaar, C. (2016). Using Aerial Imaging in a Large-Scale Roll-out of N Sidedress Recommendations for

-
- Potato. Paper presented at the ASA/CSSA/SSSA Annual Meetings, Phoenix, AZ, USA.
<https://scisoc.confex.com/scisoc/2016am/webprogram/Paper101792.html>
- Van Evert, F.K., Gaitán-Cremaschi, D., Fountas, S., Kempenaar, C., 2017. Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? *Sustainability* 9 (2017): 1863, 24 pp. doi:10.3390/su9101863.
- Van Evert, F.K., Baron, F.-J., Been, T., Berghuijs, H., Brdar, S., Hoving, I., *et al.* (2018). Combining data and models for decisions in precision agriculture. Paper presented at the 4th Dutch Bioinformatics & Systems Biology Conference, Lunteren. http://biosb.nl/wp-content/uploads/2018/05/abstract_book.pdf
- Van Evert, F.K., Been, T.H., Booij, J.A., Kempenaar, C., Kessel, G.J.T., & Molendijk, L.P.G. (2018). Akkerweb: a platform for precision farming data, science, and practice. Paper presented at the 14th International Conference on Precision Agriculture, Montreal, Quebec, Canada.
<https://ispag.org/proceedings/?action=abstract&id=5059>
- Van Evert, F.K., 2017. Met drones is precieze bijmesting van stikstof in aardappelteelt mogelijk.
<https://www.wur.nl/nl/nieuws/Met-drones-is-precieze-bijmesting-van-stikstof-in-aardappelteelt-mogelijk.htm>
- Van Evert, F.K., 2017. Precies stikstof bijmesten in aardappelen.
<https://www.slideshare.net/WageningenUR/precies-stikstof-bijmesten-in-aardappelen>.

5 Perceelkarakteristieken voor Opbrengspotentie

5.1 Perceelkarakteristieken voor het inschatten van opbrengspotentie van percelen en sturen van teeltmaatregelen (gras, maïs en akkerbouw)

Auteurs: Marleen Riemens, Paul Keizer, Sabine Schnabel

Uitvoerende partijen: ZLTO, Agrifirm Plant B.V., Kverneland Group Nieuw-Vennep B.V en Wageningen UR

5.1.1 Samenvatting

Het doel van dit werk is om te bepalen welke perceel-specifieke factoren de verschillen in opbrengst in diverse gewassen verklaren. Er zijn verschillende manieren om dit te doen. In dit project is gekozen voor een "yield gap" analyse. In deze methode wordt per perceel uitgerekend wat het verschil is tussen de maximaal haalbare opbrengst en de daadwerkelijk behaalde opbrengst. Dit verschil is het "yield gap". Door voor deze percelen, naast opbrengst, ook andere data te verzamelen, kan met statistische methodes bepaald worden welke van deze factoren een significant effect hebben op de opbrengst, en hoe groot dat effect is. In dit deelproject zijn de volgende resultaten behaald:

- a. Selectie en, waar nodig, update van geschikte gewasgroeimodellen voor het bepalen van de potentiële opbrengst van aardappel, wintertarwe en suikerbiet.
- b. DATABASES met daarin historische gegevens van praktijkpercelen voor akkerbouwgewassen, vanaf 2004.
- c. Voor datasets waarvan de omvang, de volledigheid en de mate van betrouwbaarheid van de ingevoerde verschillen verschillende statistische analyses om factoren te selecteren.
- d. Een voorstel voor een applicatie waarmee deze methodiek doorontwikkeld kan worden en beschikbaar kan komen voor de praktijk.

5.1.2 Aanleiding

Dit deelproject komt voort uit de wens om te kunnen inschatten wat het potentieel opbrengend vermogen is van een perceel. Wanneer bekend is welke perceel-specifieke factoren de verschillen in opbrengst in diverse gewassen verklaren tussen telers en percelen onderling, kan de boer zijn teelt verduurzamen. Er zijn verschillende manieren om dit te doen. Een van deze methodes is het doen van een "yield gap" analyse. In deze methode wordt per perceel uitgerekend wat het verschil is tussen de maximaal haalbare opbrengst en de daadwerkelijk behaalde opbrengst. Dit verschil is het "yield gap". Vervolgens kan bepaald worden welke van deze factoren een significant effect hebben op het yield gap en hoe groot dit effect is. Een dergelijke analyse geeft inzicht in welke teeltmaatregelen een teler moet toevoegen of veranderen om een hogere opbrengst te kunnen halen.

5.1.3 Doel van het project

Doel van dit project is de ontwikkeling van een methodiek om opbrengspotentie van percelen gewasspecifiek op basis van bodem, klimaat en managementdata te ontwikkelen in samenwerking met een studiegroep van telers.

5.1.4 Aanpak

Het doel van dit werk is om te bepalen welke perceel-specifieke factoren de verschillen in opbrengst in diverse gewassen verklaren. Er zijn verschillende manieren om dit te doen. In dit project is gekozen voor een "yield gap" analyse. In deze methode wordt per perceel uitgerekend wat het verschil is tussen de maximaal haalbare opbrengst en de daadwerkelijk behaalde opbrengst. Dit verschil is het "yield gap". Door voor deze percelen, naast opbrengst, ook andere data te verzamelen, kan met statistische methodes bepaald worden welke van deze factoren een significant effect hebben op de opbrengst, en hoe groot dat effect is. Op deze manier is er inzicht in de indicatoren waar een adviseur of teler op kan sturen om zijn opbrengst gericht en efficiënt te verbeteren.

De volgende aanpak is in dit project gehanteerd:

- A. Selectie en updaten van gewasgroeimodellen waarmee de potentiële opbrengst bepaald kan worden. Er is een uitvoerig selectieproces geweest waarin verschillende gewasgroeimodellen gebruikt en beoordeeld zijn om voor de huidige rassen de potentiële opbrengst te bepalen. Gekozen is voor de gewassen aardappel, granen en suikerbiet. In 2016 en 2017 is gewerkt aan het updaten van bestaande gewasgroeimodellen zodat ze ook voor de doelstellingen van dit project bruikbaar werden.
- B. Samenstellen van databases met daarin gewasopbrengsten, gewasinformatie (ras), bodemeigenschappen, managementhandelingen (bemesting, gewasbescherming) van praktijkpercelen.
 - a. In samenwerking met de "Ontschotten" werkgroep van Agrifirm, Suikerunie en AVEBE is historische data van telers uit het Veenkoloniale gebied verzameld. Dit leverde twee datasets op, namelijk: een rotatiedataset met daarin gegevens over de jaren 2010-2016 met 8 gewassen, en een granendataset over de periode 2004-2015.
- C. Berekenen van de potentiële opbrengst en berekening Yield gap van de percelen in de database.
 - a. Met de ge-update gewasgroeimodellen zijn de potentiële opbrengsten berekend voor de percelen en gewassen in de rotatiedataset en de granendataset. Daarbij is gekozen voor de bepaling voor gewassen die voldoende frequent in de datasets voorkwamen: aardappelen, wintertarwe en suikerbiet. Voor deze gewassen was naar verwachting voldoende data om een toetsing van de statistische methodiek mogelijk te maken.
- D. Ontwikkeling van statistische methode om de berekende yield gap te relateren aan de overige factoren in de database;
 - a. Er is een tweetraps methodiek ontwikkeld waarbij eerst een factoranalyse werd uitgevoerd en vervolgens de uitkomsten daarvan in een frontier analyse verder werden geanalyseerd. De factoranalyse had tot doel om niet relevante factoren, of factoren waar onvoldoende gegevens in de dataset aanwezig waren uit te selecteren. De relevante factoren uit de datasets, dat wil zeggen de factoren die in de factoranalyses (REML, PCA, simpele univariate analyses) een relatie met de berekende yield gap hadden, werden geselecteerd. Op deze selectie werd een frontier analyse toegepast. Deze techniek wordt in economisch onderzoek gebruikt voor onderzoek naar efficiënt gebruik van resources. Hoe dichter een bedrijf in de buurt van een hogere (productie) grens zit, hoe efficiënter zijn inzet van grondstoffen en teelthandelingen is. Er zijn verschillende technieken om frontiers te schatten (zo als stochastische frontier analysis, data envelopment analysis; gebruik van kwantielen en expectielen als frontier). In deze toepassing gebruikten wij geschatte expectiel curves als frontiers (Schnabel & Eilers, 2009) in combinatie met een flexible curve schatting.
- E. Schets van een APP om de methodiek te ontsluiten voor praktijk.

5.1.5 Resultaten en discussie

Dit project heeft de volgende resultaten opgeleverd:

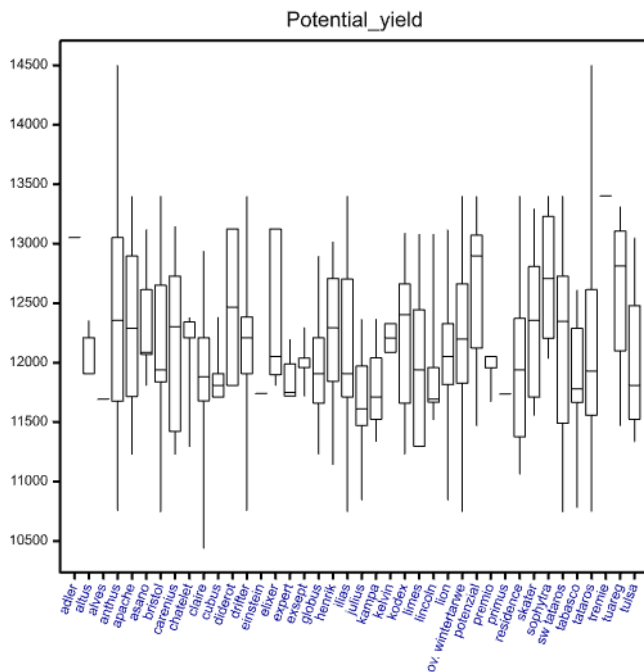
A. Selectie en, waar nodig, update van geschikte gewasgroeimodellen voor het bepalen van de potentiële opbrengst van aardappel, wintertarwe en suikerbiet

We hebben gekozen voor het gewasgroeimodel LINTUL4. De belangrijkste voordelen van het gebruik van dit model, ten opzichte van andere beschikbare gewasgroeimodellen, is dat het vrij beschikbaar is voor onderzoeksdoeleinden (URL: <http://models.pps.wur.nl/node/950>), en dat er parameterwaarden

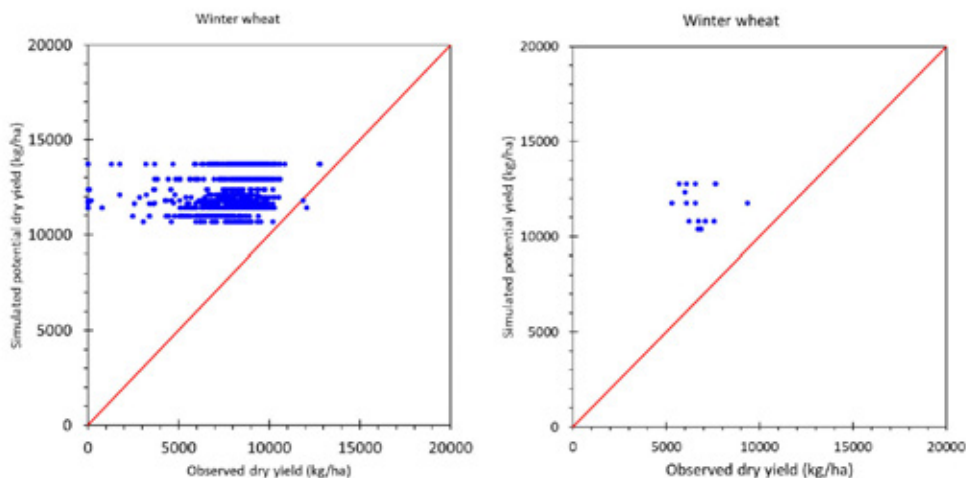
beschikbaar zijn voor een groot aantal gewassen (Figuur 5.1-1). LINTUL4 bevat onder ander parameters voor de gewassen wintertarwe (in het bestand WWHEAT.DATo), zomertarwe (SWHEAT.DATo), zomergerst (BAR1.DATo), zetmeelaardappel (POT701.DATo) en suikerbiet (SUG6061.DATo). Het enige Wageningse model waarvoor deze beide voordelen ook gelden is het WOFOST model (Bogaart *et al.*, 2014). Een voordeel van het gebruik van LINTUL4, ten opzichte van WOFOST, is echter dat het ook kan worden gebruikt om stikstofgelimiteerde groei te simuleren (Figuur 5.1-2). LINTUL4 heeft, los van de modelparameters, de volgende invoergegevens nodig om potentiële groei te kunnen berekenen:

- Minimum temperatuur
- Maximum temperatuur
- Dagelijkse hoeveelheid straling

Daarnaast heeft LINTUL4 voor de berekening van de potentiële groei voor alle gewassen, behalve voor wintertarwe, de zaaidatum of de opkomstdatum nodig.



Figuur 5.1-1 Variatie in potentiële opbrengsten van de tarwerassen (2004-2015) in de granendataset.



Figuur 5.1-2 Potentiële opbrengsten van wintertarwe in de granendataset (links) en de rotatiedataset (rechts).

B. DATABASES met daarin historische gegevens van praktijkpercelen voor akkerbouwgewassen, vanaf 2004.

C. Voor datasets waarvan de omvang, de volledigheid en de mate van betrouwbaarheid van de ingevoerde verschillen verschillende statistische analyses om factoren te selecteren.

D. Een voorstel voor een applicatie waarmee deze methodiek doorontwikkeld kan worden en beschikbaar kan komen voor de praktijk.

5.1.6 Valorisatie

De kennis ontwikkeld in dit project kan gebruikt worden voor de ontwikkeling van een adviessysteem. We zien een getrapte aanpak voor ons, via 3 versies van een applicatie: APP 1a, APP 1b, en APP 1c. Hieronder schetsen we welke eindresultaten de app op zou leveren en welke informatie nodig is als input.

App 1a

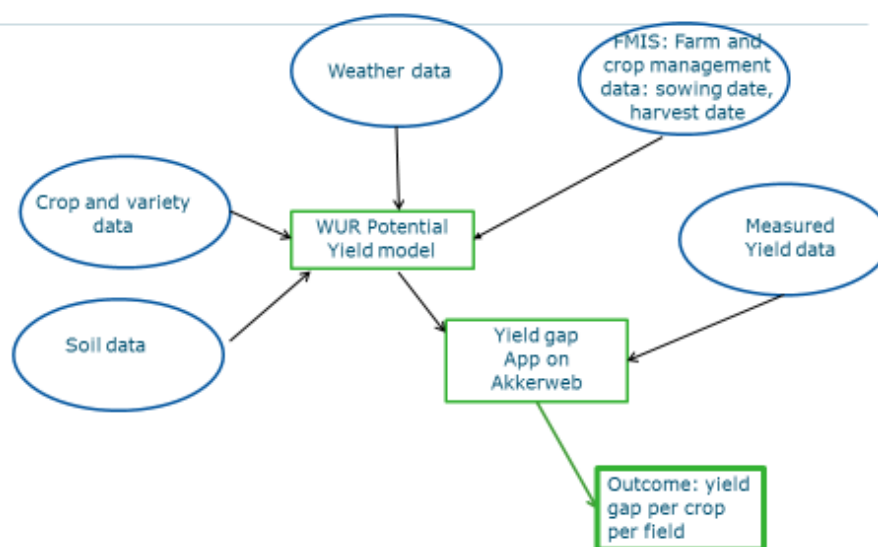
App 1a heeft als eindresultaat de gemiste opbrengst per perceel, oftewel de yield gap. Binnen het project geselecteerde gewasgroeimodellen kunnen als basis gebruikt worden voor de berekening van de potentiële opbrengsten.

Benodigde informatie betreft:

- Weersgegevens perceel
- Dagelijkse hoeveelheid straling per oppervlakte eenheid
- Dagelijkse gemiddelde temperatuur (of de minimum en de maximum temperatuur)
- Gewas en ras
- Geografische locatie van het veld (het liefst in de vorm van een polygoon)
- Bodemgegevens per perceel
- Minimale management informatie:
 - Zaaidatum
 - Oogstdatum
 - Beregening
 - Opbrengst per perceel
 - N gift

Onderstaand figuur geeft een schets van de voorziene app.

APP 1a



App 1b

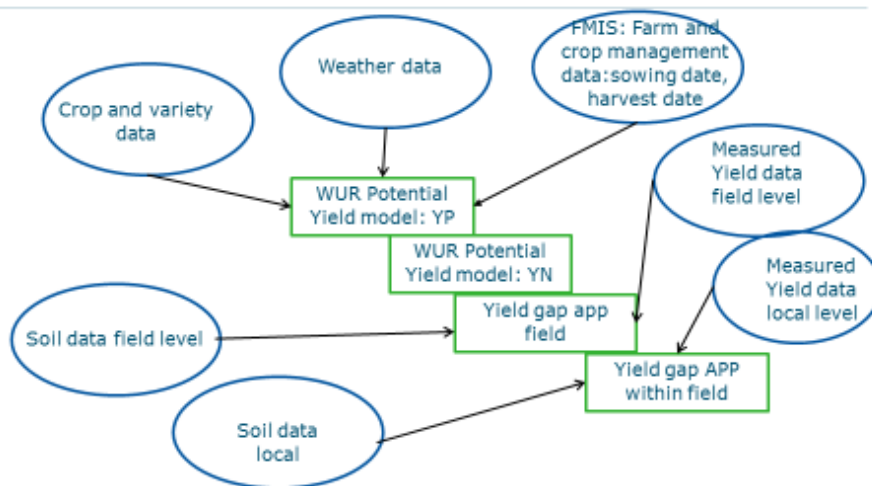
App 1b heeft als eindresultaat de gemiste opbrengst, oftewel de yield gap **plaats specifiek**.

Benodigde informatie betreft:

- Weersgegevens perceel
- Dagelijkse hoeveelheid neerslag
- Dagelijkse relatieve luchtvochtigheid
- Dagelijkse gemiddelde windsnelheid
- Makkink en/of Penman referentieverdamping
- Gewas en ras
- Geografische locatie van het veld (het liefst een polygoon)
- Bodemgegevens per eenheid binnen perceel
- Minimale management informatie:
 - Zaaidatum
 - Oogstdatum
 - Berekening
 - Opbrengst per eenheid binnen perceel
 - N gift
 - Hoeveelheid vocht in de bodem aan het begin van het groeiseizoen.
 - Hoeveelheid anorganische stikstof in de bodem aan het begin van het groeiseizoen

Onderstaand figuur geeft een schets van de voorziene app.

APP 1b



App 2

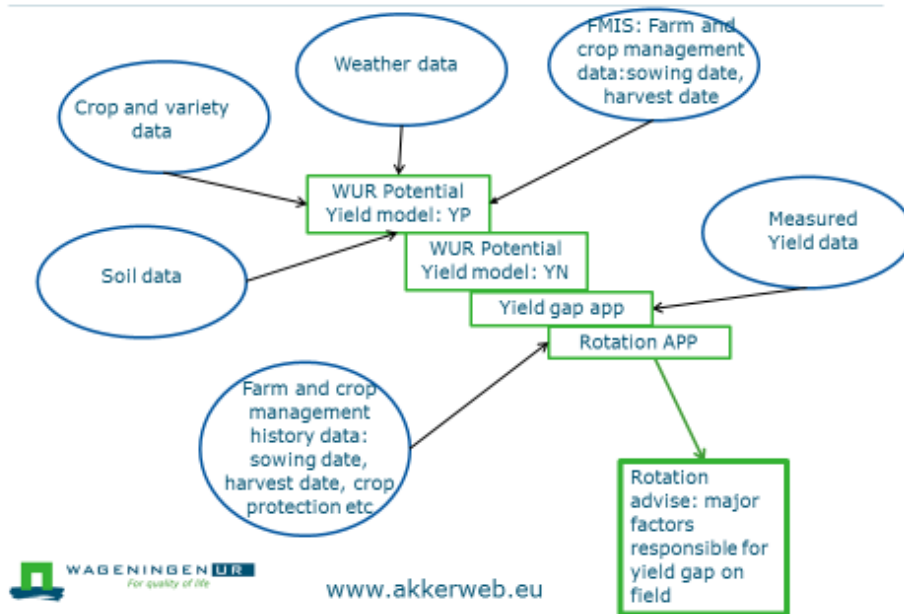
App 2 heeft als eindresultaat een overzicht van de factoren verantwoordelijk voor de yield gap.

Benodigde informatie betreft:

- Weersgegevens locatie
- Gewas en ras
- Bodemgegevens per oppervlakte eenheid
- Geografische locatie van het veld (het liefst een polygoon)
- Maximale management informatie:
 - Zaaidatum per eenheid
 - Oogstdatum per eenheid
 - Berekening per eenheid
 - Opbrengst per eenheid
 - N, P, K, gift per eenheid
 - Crop protection per eenheid
 - Bodembewerking (type, datum) per eenheid
 - Aanwezige ziekten/plagen/onkruiden (druk/eenheid)
 - Gewasbescherming per eenheid (middel, werkzame stof, dosering, tijdstip)

Onderstaand figuur geeft een schets van de voorziene app.

APP 2



5.1.7 Conclusie en aanbevelingen

Conclusies

- Goede, uniforme, registratie van gegevens per perceel (of eenheid waarvoor de analyses gedaan worden) is essentieel. Met name opbrengstbepalingen in de historische gegevens betroffen nog wel eens bepalingen voor een aantal percelen samen, waar de overige gegevens wel per perceel werden geregistreerd.
- De datasets die in het project beschikbaar kwamen hadden onvoldoende grootte om alle analyses te kunnen doen. Het is noodzakelijk om van een groot aantal telers en percelen data beschikbaar te krijgen om de uitkomsten van de analyses gerichter, specifiek en nauwkeuriger te krijgen.

Aanbevelingen

- Registreer gewasgegevens, teelthandelingen en bodemparameters op dezelfde oppervlakte eenheid.
- Curatie/Opschonen van de data neemt erg veel tijd in beslag en maakt dat informatie niet gebruikt kan worden. Anderzijds bemoeilijkt de pluriformiteit van de gegevens over bemesting en bescherming een analyse door het ontbreken van (enige) redundantie tussen de (beperkte groep) telers. Data acquisitie verbeteren door ergonomen te betrekken bij de 'handmatige' invoer en een 'lokale gewas meetpaal' ontwikkelen en behoefte van de analyses van deze data.
- Organiseer een applicatie op basis waarvan telers op basis van hun locatie, gewas en ras eenvoudig hun gewasopbrengsten kunnen vergelijken met het gemiddeld voor de regio, in ruil voor data van hun percelen (de minimale dataset genoemd onder app 1a).
- Herhaal de analyses die in dit project zijn gedaan voor een grotere, completere dataset.

5.1.8 Literatuurlijst

Referenties

Berghuijs, Herman, Paul Keizer, Sabine Schnabel & Marleen Riemens, 2018. Rapportage PL2.0 deelproject 4a1 Perceelkarakteristieken.

5.2 Perceelkarakteristieken voor het inschatten van opbrengstpotentie van percelen en sturen van teeltmaatregelen (boomteelt)

Auteurs: Fenny van Egmond en Dennis Walvoort

Uitvoerende partijen: Boomkwekerij L.B. Ruijgrok v.o.f., Handelskwekerij De Buurte B.V., V.O.F. Boomkwekerij Liwardi, Mart van Dijk Boomkwekerijen B.V., Boomkwekerijen Henri Fleuren B.V., Loonbedrijf De Tol Opheusden, Agrifirm Plant B.V., ZLTO en Wageningen UR

5.2.1 Samenvatting

Het doel van smart farming, een vorm van precisielandbouw, is een optimaal management van het gewas om zo een, voor de omstandigheden, zo optimaal mogelijke oogst te behalen met behoud van de kwaliteit van bodem en omgeving. Zowel de perceelomstandigheden (bodem, water, hoogte, omgeving) als het optimalisatie doel (verhogen gewasopbrengst, homogeen product enz.) bepalen welke delen van het perceel welk management moeten krijgen. Hiertoe wordt een perceel vaak opgedeeld in zo homogeen mogelijke management zones met zo min mogelijk variatie in gewas beïnvloedende kenmerken binnen de zone. Daarbij geldt dat in verband met mechanisatie (werkbreedte, instelsnelheid apparatuur) de zones een minimale grootte moeten hebben en liefst niet te gefragmenteerd (voldoende compact) moeten zijn. In het kader van dit project is met deze randvoorwaarden een methode ontwikkeld die om kan gaan met verschillende datalagen. De methodiek gaat uit van een aantal kaartlagen (bijvoorbeeld gewas opbrengstkaarten, organische stofkaarten, remote sensing beelden) en clustert deze gegevens tot homogene compacte managementzones. Het aantal management zones en de mate van fragmentatie kan worden gespecificeerd.

5.2.2 Aanleiding

In het project Precisielandbouw 2.0 kwam in de Boomteeltgroep begeleid door eerst Ton Baltissen en later Henk van Reuler in 2017 en 2018 naar voren dat niet duidelijk is hoe verschillende lagen met beschikbare data over een perceel goed gecombineerd kunnen worden tot managementmogelijkheden. Het gaat dan om kaartlagen zoals hoogte, bodemkaart, bodemscan, drone, satelliet of op basis van gewassensorbeelden en daaruit afgeleide indicatoren (NDVI, WDVI, biomassa), observaties door de kweker, andere omgevingsfactoren zoals een rand met bomen, afwatering etc. Managementmogelijkheden zijn bijvoorbeeld het afstemmen van de keuze van soort en rassen op bodem- en afwateringsomstandigheden, het variëren van de plantafstand en bemesting. Na een correlatieanalyse van de gevoeligheid van heesterrassen voor variatie in bepaalde inputlagen en het opstellen van een flowchart voor het gebruik van bodemscandata is besloten ook een tool te ontwikkelen voor het objectief en doelgericht combineren van datalagen tot praktisch toepasbare management zones. Een managementzone binnen een perceel is een zone waarbinnen de variatie in doel beïnvloedende factoren (zoals gewasgroei, vermindering van uit- of afspoeling, van bodemverdichting, pH of organische stof verhoging) zo klein mogelijk is. Dat betekent dat het management binnen een zone gelijk zal kunnen zijn. Om deze zones werkbaar te houden voor een kweker of teler moeten deze zijn afgestemd op de beschikbare mechanisatie (werkbreedte, instelsnelheid apparatuur) en dus een minimale grootte hebben en eventueel een maximaal aantal zones hebben (stapgrootte apparatuur/beschikbare rassen etc.).

Verder zullen afhankelijk van de management maatregel andere factoren en dus datalagen belangrijk zijn om mee te nemen. Voor variabel bekalken is pH bijvoorbeeld belangrijk terwijl voor variabele poot/plantafstand op basis van waterbeschikbaarheid het klei- en organische stof gehalte belangrijk zal zijn. Iedere maatregel zal dan mogelijk een andere managementzonekaart nodig hebben. Daarom zou het goed zijn verschillende datalagen een verschillende weging mee te kunnen geven, afhankelijk van het doel.

Er bestaan diverse manieren om managementzones te maken. Dit varieert van het handmatig zelf omlijnen van zones op een enkele data laag, tot expertregels op basis van een aantal datalagen (bv.

3 x klei plus 1 x organische stof), tot statistische clusteringsmethoden zoals fuzzy k-means etc. In de literatuur zijn verschillende clustermethoden beschreven (Hartigan & Wong, 1979; Bezdek *et al.*, 1984; de Gruijter & McBratney, 1988; McBratney & de Gruijter, 1992; Minasny & McBratney, 2002, Dennerly *et al.*, 2018, Whelan & McBratney, 2003). Hoewel deze methodes leiden tot homogene management zones, kunnen de zones sterk gefragmenteerd zijn en daardoor moeilijk te gebruiken. Aan de andere kant van het spectrum bestaan methoden zoals spatial coverage sampling (Walvoort *et al.* 2010) waarbij een gebied in zo compact mogelijke zones wordt opgedeeld (zogenaamde geostrata). Deze zones zijn weliswaar zeer compact, maar hoeven niet noodzakelijkerwijs homogeen te zijn. Deze methode is daarom ook niet geschikt voor dit doel. Op basis van expertregels of legenda's van enkele kaarten managementzones maken is vaak arbeidsintensief, subjectief en niet reproduceerbaar. Daarom is behoefte aan een methodiek die reproduceerbare, homogene en compacte zones oplevert op basis van meerdere kaartlagen waarbij het aantal zones en de weging per input kaart kunnen worden gekozen. Dit kan worden ingezet voor sectoren als de akkerbouw en boomteelt maar ook voor het ecologisch beheer van natuurgebieden bijvoorbeeld.

Het onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met Henk van Reuler (PPS Precisielandbouw 2.0-Boomteelt). Het eerste statistische concept idee is opgesteld door Gerard Heuvelink (WUR). Met dit in gedachten heeft Dennis Walvoort verder literatuuronderzoek uitgevoerd en op basis daarvan een algoritme van Bezdek en Ahmed uitgebreid en verder uitgewerkt door Dennis Walvoort, ondersteund door Fenny van Egmond.

5.2.3 Doel van het project

Het doel van het project is het ontwikkelen van een methode waarmee op basis van meerdere datalagen percelen kunnen worden opgedeeld in managementzones die relatief homogeen zijn wat betreft omgevingsvariabelen (zoals bodemopbouw en samenstelling, water, gewasgroei, oogst en hoogtevariatie) en bovendien zo compact mogelijk zijn. Daarbij moet het aantal zones en de weging per input kaart kunnen worden gekozen. Liefst wordt ook een minimale vlakgrootte ingesteld. Deze methodiek kan worden ingezet voor sectoren als de akkerbouw en boomteelt maar ook voor het ecologisch beheer van gronden bijvoorbeeld. De methodiek is te gebruiken door het benaderen van een tool op een eenvoudige website.

5.2.4 Aanpak

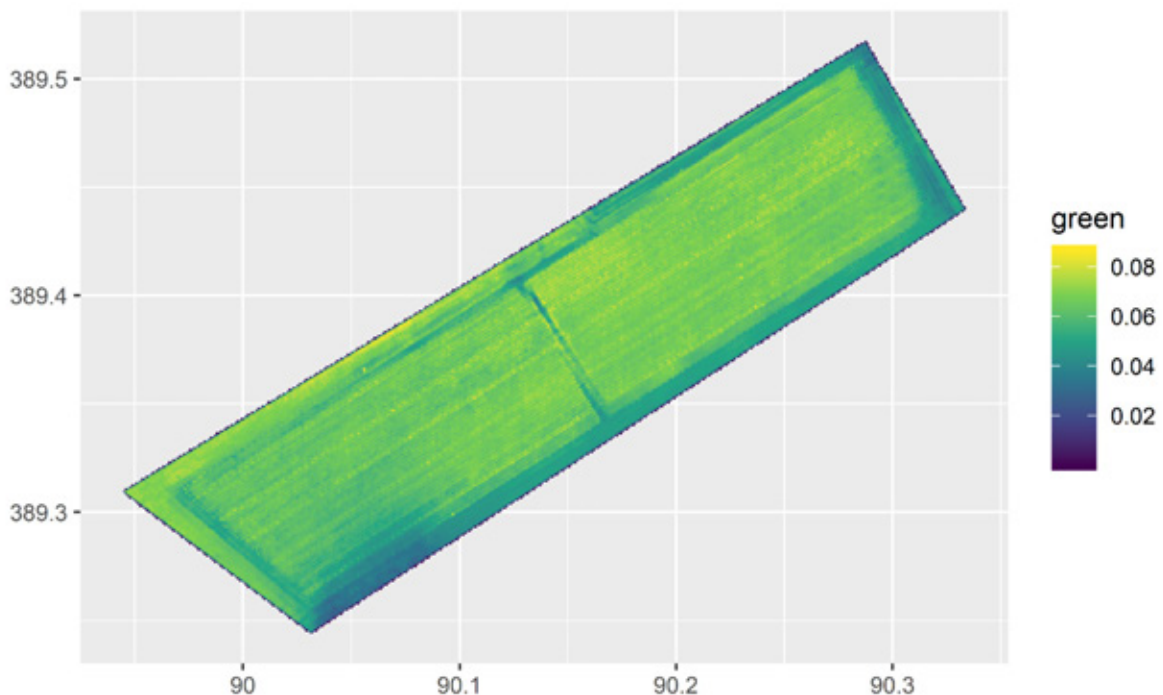
We zijn begonnen met een korte literatuurstudie om te achterhalen of wellicht in de precisie landbouw, statistiek of aanpalende vakgebieden al methodes zijn ontwikkeld die aan de wensen voldoen. Hieruit kwam een aantal methoden naar voren die mogelijk geschikt zouden kunnen zijn, dit is beschreven in een korte memo (op aanvraag beschikbaar). Hieruit is een selectie gemaakt op basis van de feedback en ervaring van verschillende experts (Dennis Walvoort en Jaap de Gruijter). De bevindingen zijn besproken met Henk van Reuler waarna de methode is uitgewerkt in code door Dennis Walvoort. Deze is getest met een grote dataset (voor een regio in West-Afrika, hiertoe bood een ander project ruimte) en vervolgens verder geautomatiseerd. Als voorbeeld en tweede test is de aangepaste code toegepast op het eerder onderzochte boomkwekerij perceel van Liwardi bij Nispen onder Roosendaal. Van dit perceel is bodemscan data beschikbaar gemeten met een EM38 (elektromagnetische inductie van 0 tot 0.5 m-mv en 0-1.5 m-mv, een maat voor elektrische geleidbaarheid van de bodem wat indicatief is voor klei en vochtgehalte, porositeit en zoutgehalte). Ook is het AHN (Algemeen Hoogtebestand Nederland) 3 beschikbaar en een multispectraal gewasreflectie beeld opgenomen met een drone ten tijde van de voorvrucht (gerst). Het algoritme is daarna verwerkt in een eenvoudige website. Op deze website kan de methode worden toegepast op kaartlagen met eenzelfde formaat (grid grootte, projectie, etc.).

5.2.5 Resultaten en discussie

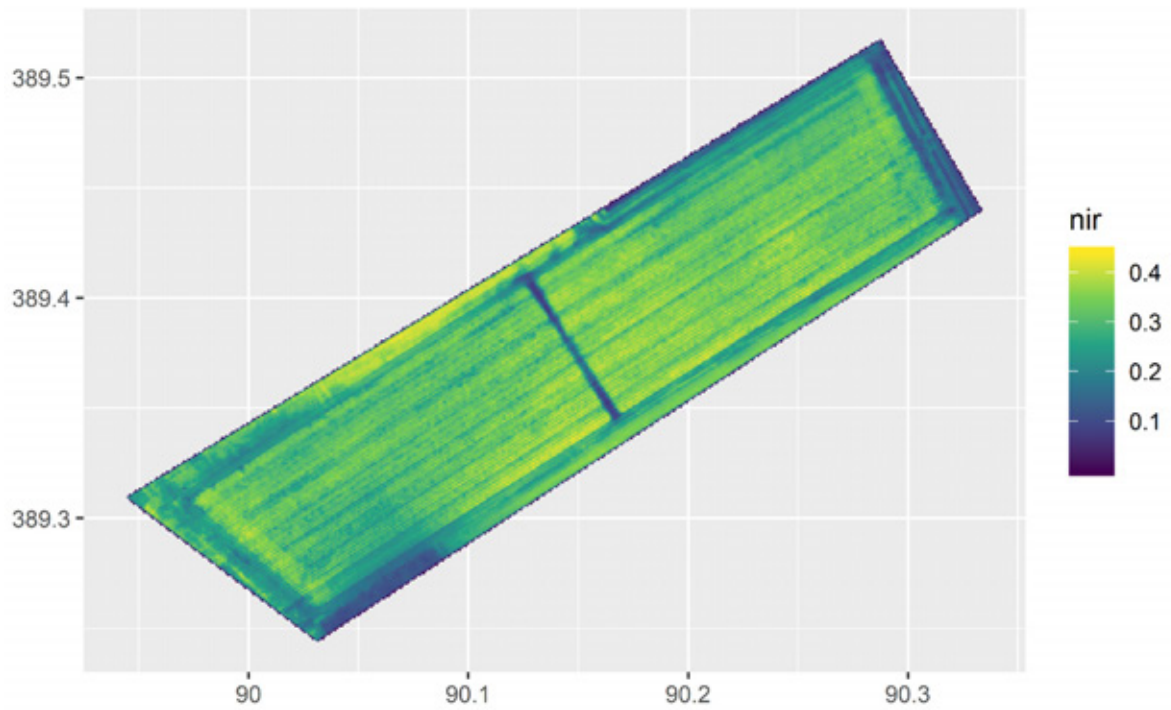
Uit het korte literatuuronderzoek bleek dat bestaande methoden nog niet aan alle eisen voldeden. Methodes zoals (fuzzy) k-means geven wel bodemkundig homogene zones, maar niet noodzakelijkerwijs compacte gebieden. De geostrata die met spatial coverage sampling worden verkregen resulteren daarentegen in zeer compacte zones, maar deze zijn niet noodzakelijkerwijs homogeen. We hebben

daarom een nieuwe methode ontwikkeld die aan beide eisen, te weten, homogeniteit en compactheid voldoet. Hierbij kan de mate van fragmentatie worden ingesteld. Deze opdeling gebeurt aan de hand van beschikbare kaartlagen zoals bodemeigenschappen, gewasreflectie, hoogte en gewasopbrengsten. De methode is een vorm van fuzzy clustering waarbij de doelfunctie wordt geminimaliseerd in zowel waarde van de eigenschap (feature space) als ruimtelijk (geographical space). Dat betekent dat het algoritme zoekt naar compacte gebieden met slechts kleine verschillen in eigenschappen en als dat het geval is, wijst het algoritme ze toe aan dezelfde zone. Het aantal zones kan van tevoren worden gespecificeerd. Dit dwingt het algoritme zones te creëren die de aanwezige variatie (in omgevingsvariabelen) het best weergeven. Aangezien de omgevingsvariabelen in verschillende eenheden en ordegroottes staan worden input datalagen gestandaardiseerd voordat het algoritme op de kaarten wordt toegepast. Dit maakt elke data laag even belangrijk. Vervolgens kan met behulp van een wegingsfactor meer of minder waarde aan een input data laag worden gegeven (bij variabel bekalken zal bijvoorbeeld een relatief groot gewicht aan de pH worden gegeven). De keuze voor het aantal zones dat het algoritme mag maken, hangt af van logistieke mechanisatie redenen (stapgrootte apparatuur/beschikbare soorten en rassen etc.) en de ruimtelijke variatie binnen het perceel.

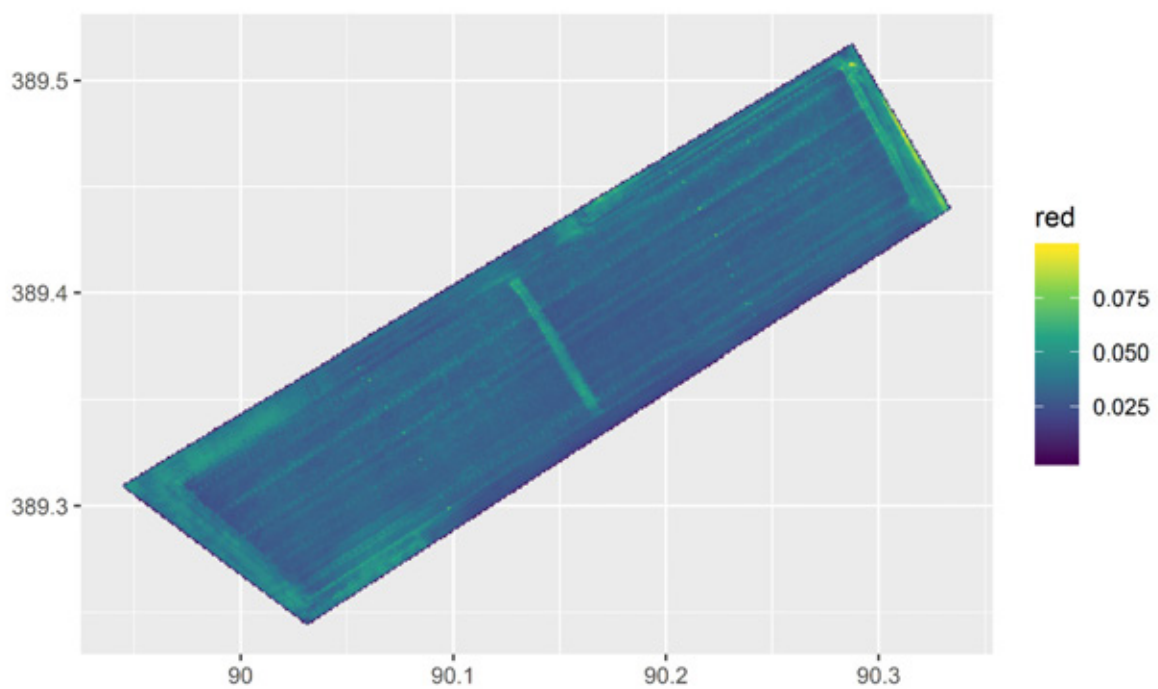
Als voorbeeld en test hebben we de beschikbare data (elektrische geleidbaarheid, hoogtekaart, gewasreflectie) van een boomkwekerijperceel van Liwardi bij Nispen, Brabant gezoneerd. Dit is een perceel op zandgrond. Figuur 5.2-1a tot en met 5.2-3 geven de input kaarten weer. In dit geval is gekozen voor het genereren van 2, 3, 4 en 5 zones zodat goed kan worden beoordeeld hoeveel zones de in het perceel aanwezig variatie goed weergeven. Deze resultaten zijn weergegeven in Figuur 5.2-4 tot en met 5.2-8. Voor Figuur 5.2-8 is een lagere clusteringsinstelling gebruikt ten opzichte van Figuur 5.2-7. Het verschil is duidelijk zichtbaar.



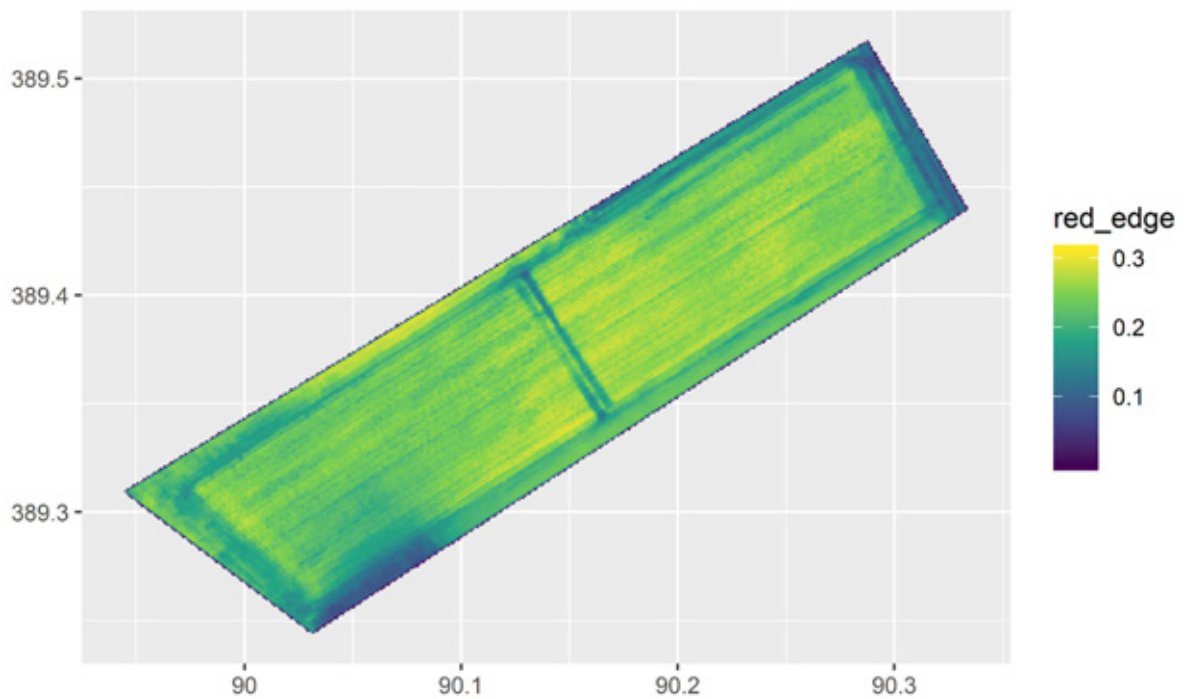
Figuur 5.2-1a Drone beeld opgenomen op 18 december 2015 met een Multispec4C camera van Airinov. Weergegeven is de groene band.



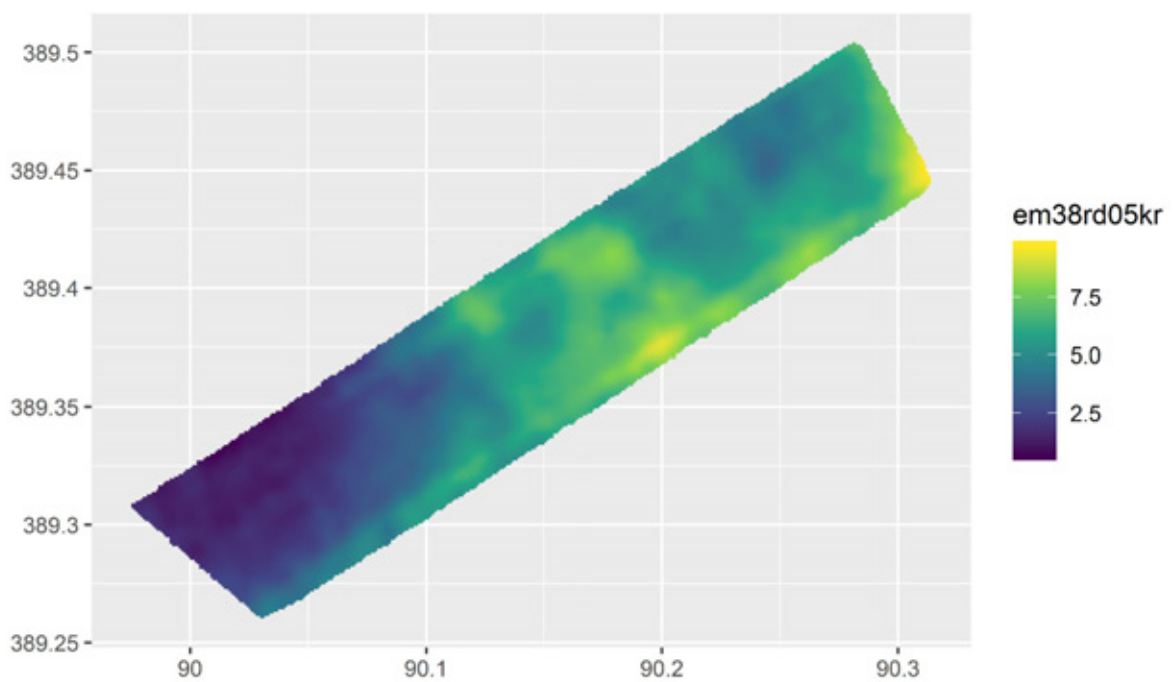
Figuur 5.2-1b Drone beeld opgenomen op 18 december 2015 met een Multispec4C camera van Airinov. Weergegeven is de nabij infrarode band.



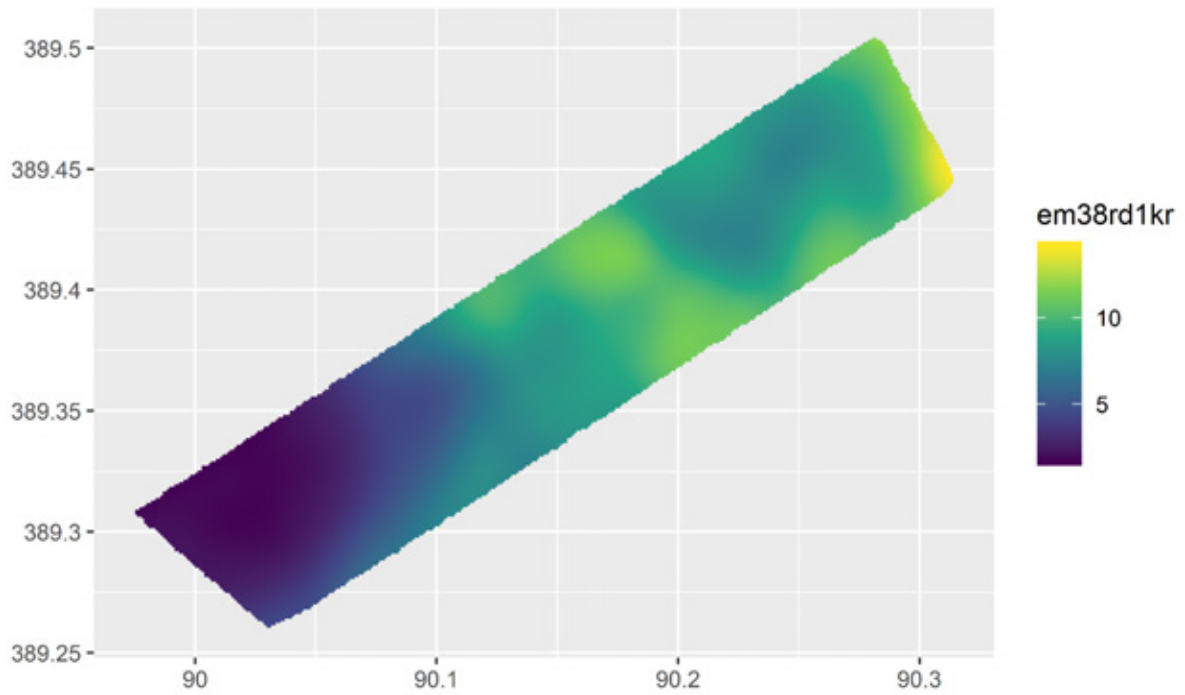
Figuur 5.2-1c Drone beeld opgenomen op 18 december 2015 met een Multispec4C camera van Airinov. Weergegeven is de rode band.



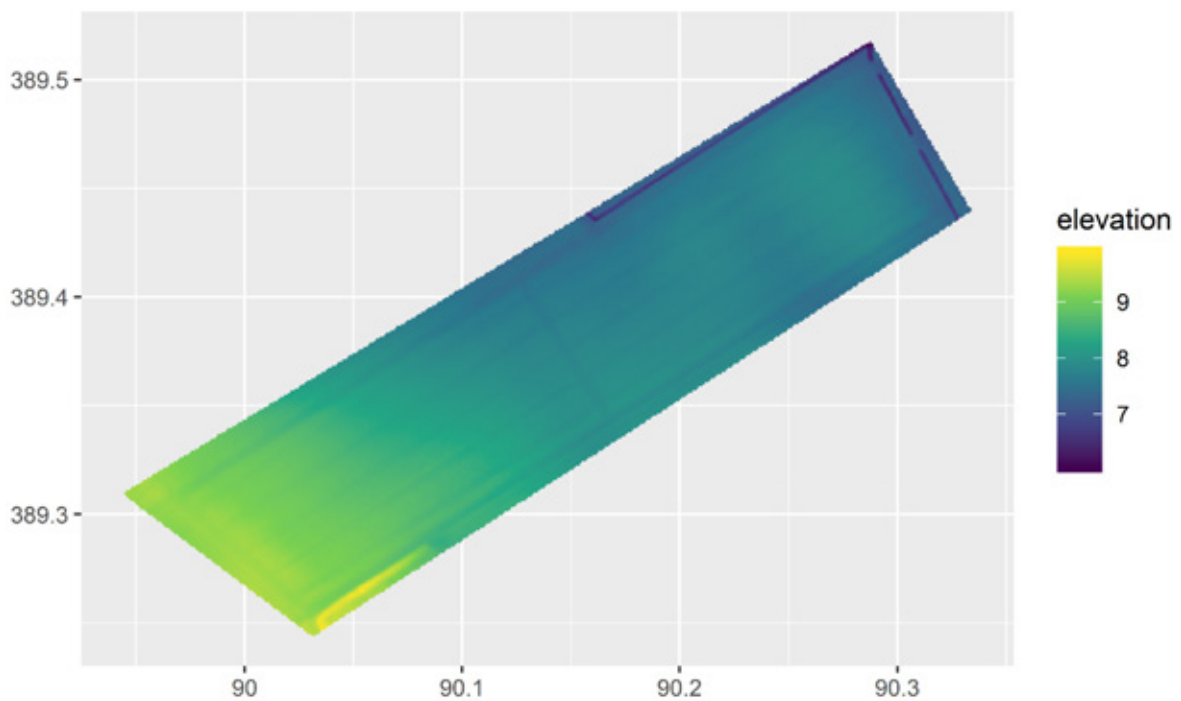
Figuur 5.2-1d Drone beeld opgenomen op 18 december 2015 met een Multispec4C camera van Airinov. Weergegeven is de red-edge band.



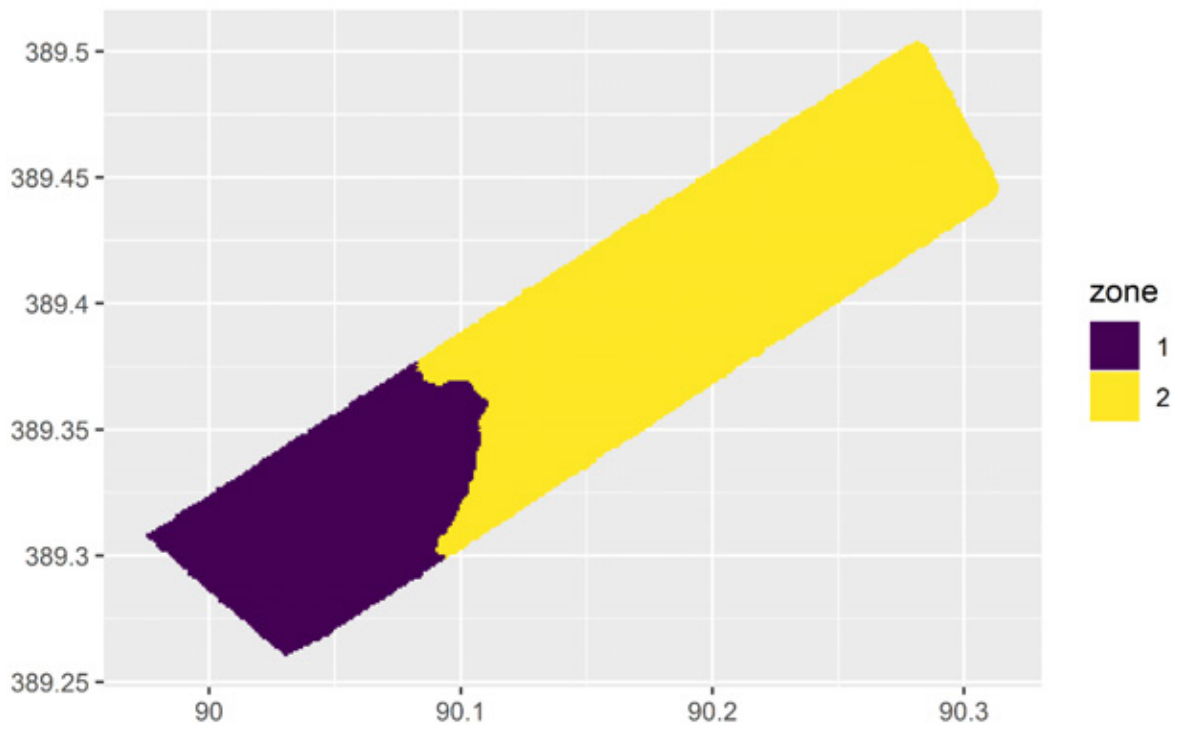
Figuur 5.2-2a Geïnterpoleerde kaart (d.m.v. kriging) van van Geonics EM38 MK2 sensor metingen uitgevoerd op 3 september 2015. Weergegeven is de horizontale dipool, spoelafstand 0.5 m (diepte bereik 0-0.8 m-mv, zwaartepunt meting op 0,2-0,3 m-mv).



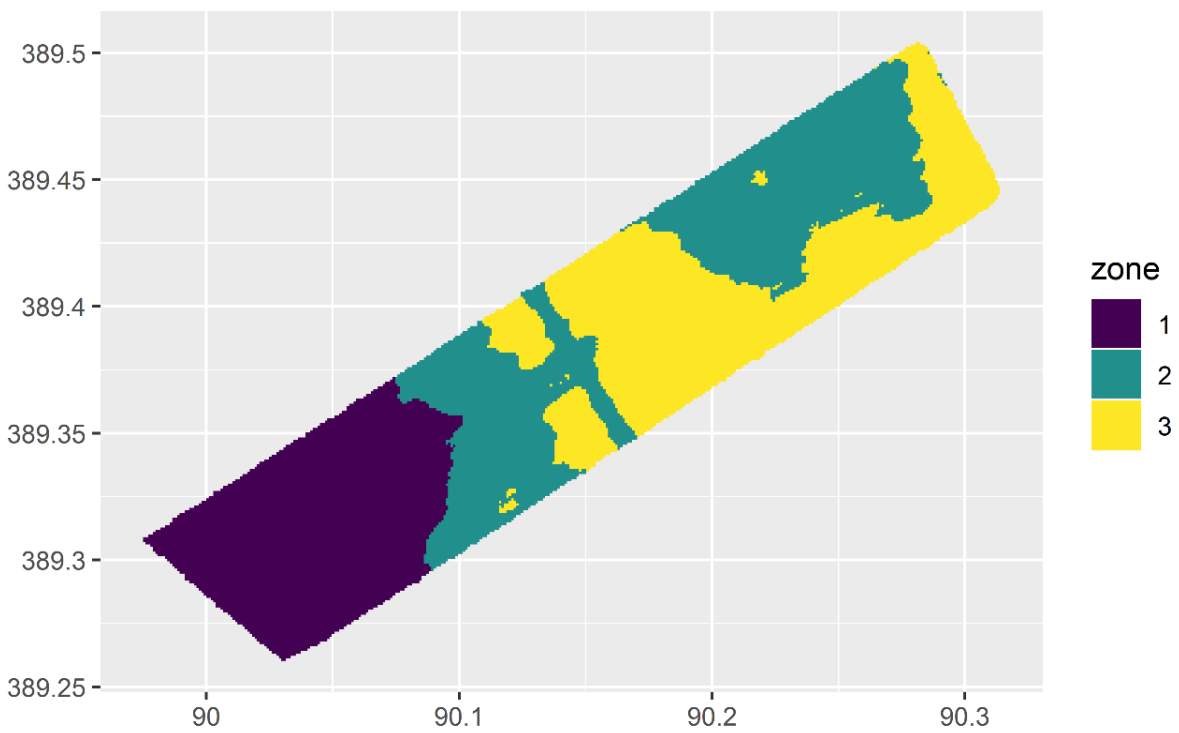
Figuur 5.2-2b Geïnterpoleerde kaart (d.m.v. kriging) van van Geonics EM38 MK2 sensor metingen uitgevoerd op 3 september 2015. Weergegeven is de verticale dipool, spoelafstand 1 m (diepte bereik 0-2 m-mv, zwaartepunt meting op 0,3-0,7 m-mv).



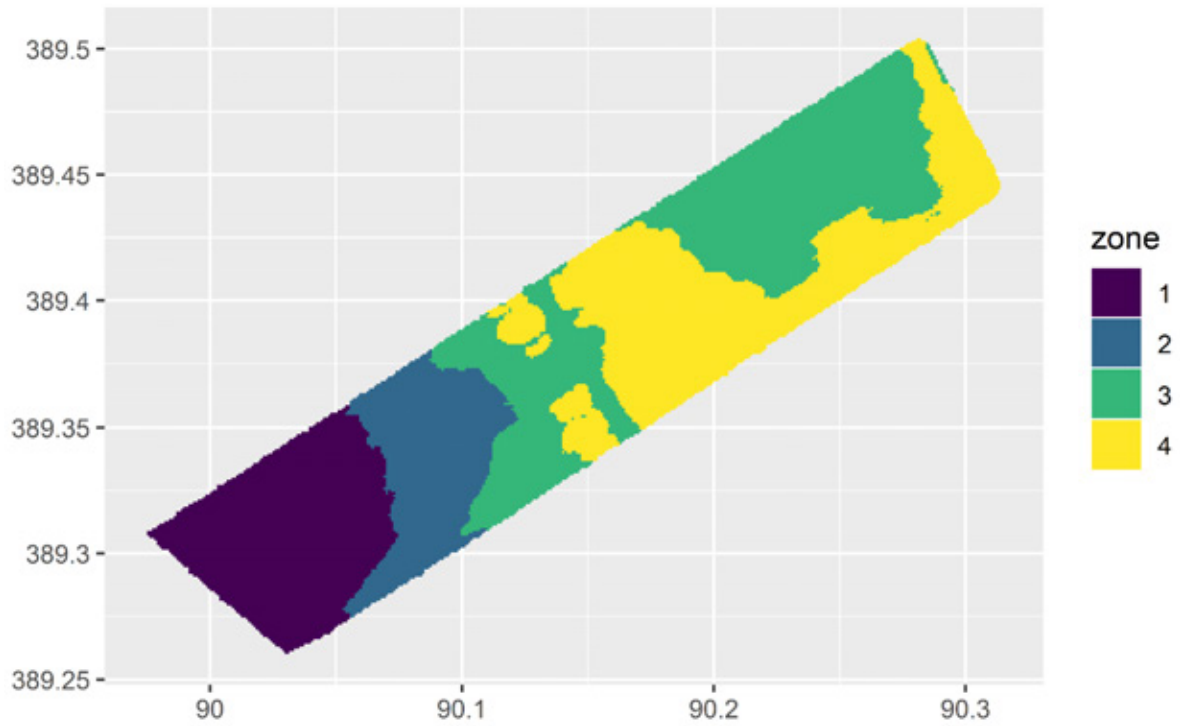
Figuur 5.2-3 Algemeen Hoogtebestand Nederland 3, 0.5 m resolutie.



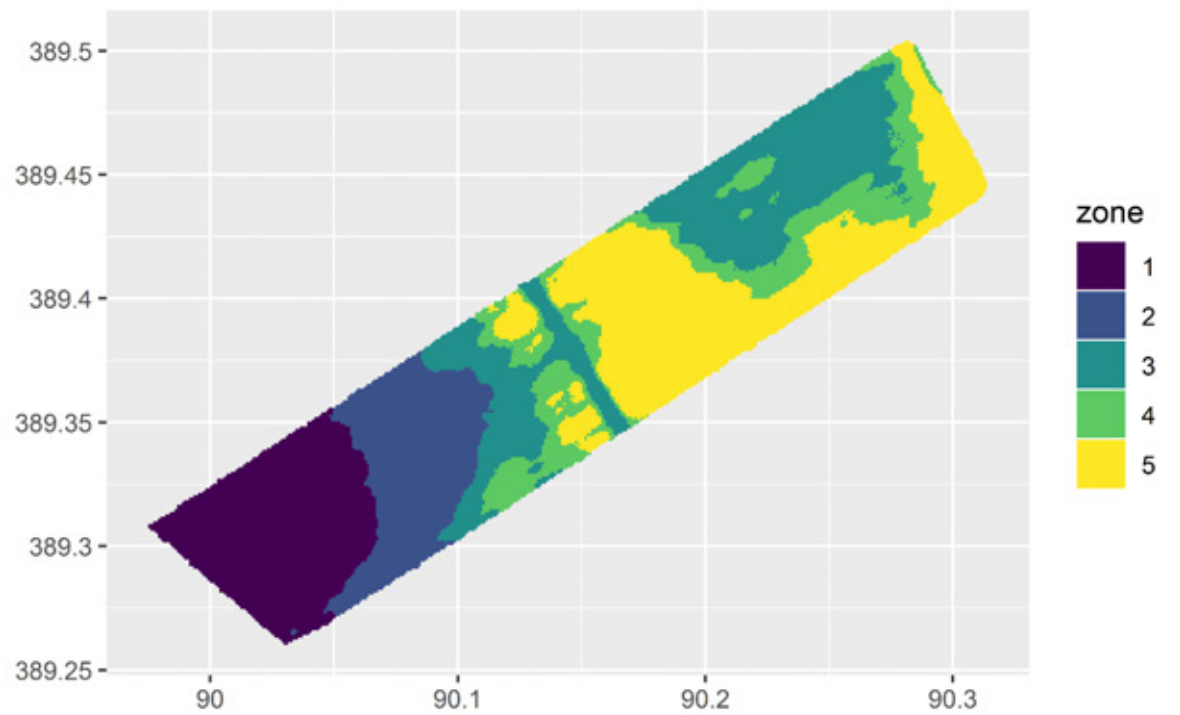
Figuur 5.2-4 Resultaatkaart met 2 management zones.



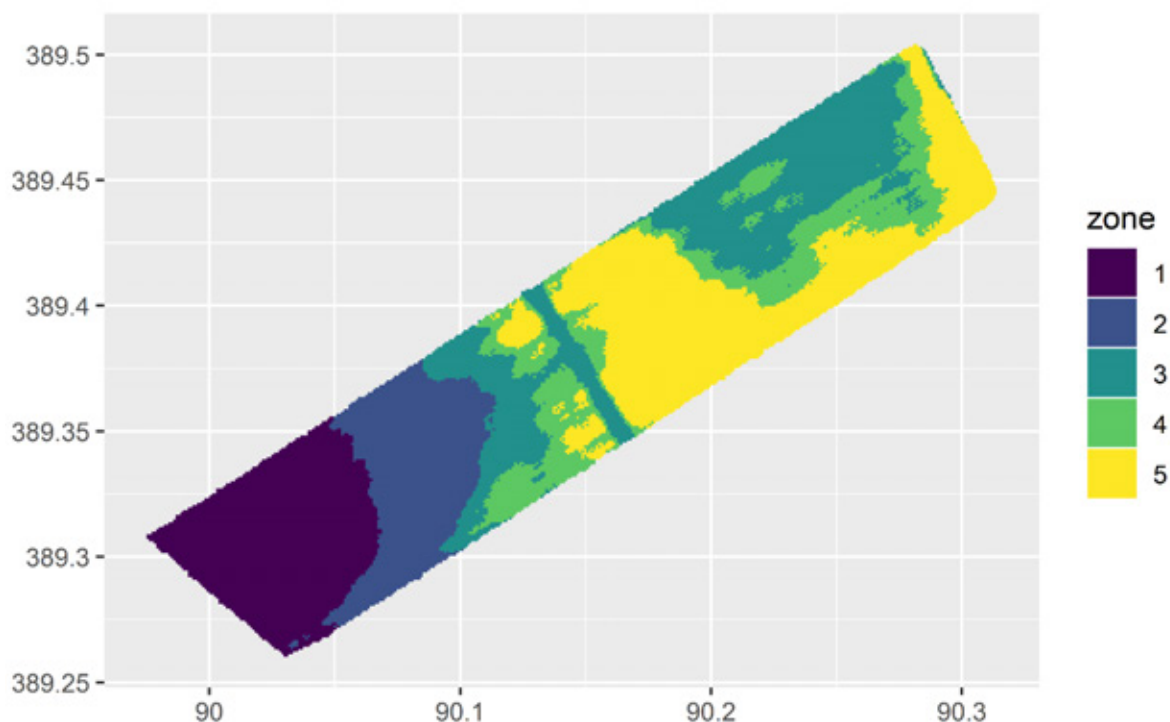
Figuur 5.2-5 Resultaatkaart met 3 management zones.



Figuur 5.2-6 Resultaatkaart met 4 management zones.



Figuur 5.2-7 Resultaatkaart met 5 management zones.



Figuur 5.2-8 Resultaatkaart met 5 management zones met lagere cluster instellingen (gamma).

Het blijkt dat de paden zonder gewas en op andere geteste voorbeelden de randen van het perceel worden toegewezen aan een aparte zone bij gebruik van 3 of meer zones. Dit is een bijkomend voordeel van de methode en een reden om 1 zone meer te kiezen dan op basis van een eerste impressie van variatie zou worden verwacht. We zien de patronen in de invoerkaarten goed terug in de managementzones. Daarbij lijkt 3 zones genoeg voor dit perceel. De resolutie van de zone kaart kan nog aangepast worden. Op dit moment is deze op 1 meter minimaal gezet omdat wij denken dat een machine niet sneller een andere instelling kan toepassen.

De methode wordt ontsloten via een makkelijk toegankelijke website: stratifier.org. In een vervolg zouden we graag een controle op inputformaat en het direct visueel bekijken van de resultaten online mogelijk maken. Ook zou de tool benaderbaar moeten worden als API om integratie van de tool in bestaande farm management systems te bevorderen en vergemakkelijken.

5.2.6 Valorisatie

De methode kan worden gebruikt voor het opdelen van percelen in homogene en compacte zones op basis van een of meerdere datalagen. Elke zone kan dan optimaal en op een specifieke manier worden gemanaged. De methode is met name interessant voor precisielandbouw (smart farming) in de akkerbouw, boomteelt en andere grondgebonden teelten, maar kan ook voor natuurbeheer of inrichting van nieuwe gebieden worden gebruikt. Door optimaal management zoals locatie-specifieke ras keuze, poot/plantafstand, bemesting en bestrijding van ziekten en plagen kan oogst binnen de randvoorwaarden van het weer en wet en regelgeving worden geoptimaliseerd. Maar ook kan hierdoor af- en uitspoeling van nutriënten en bestrijdingsmiddelen naar grond- en oppervlaktewater worden beperkt.

5.2.7 Conclusie en aanbevelingen

Conclusies

- We hebben een objectieve methode ontwikkeld om percelen op te delen in relatief homogene én compacte managementzones op basis van een of meerdere kaartlagen;
- De methode is eenvoudig toegankelijk via een website;
- Voordelen ten opzichte van andere methoden zijn de rekenkundige basis, optimale keuze voor klassegrenzen o.b.v. feature space, instelbare ruimtelijke clustering, het kunnen gebruiken van meerdere kaartlagen in verschillende eenheden en orde van groottes, eenvoudig te gebruiken en benaderen via een onafhankelijke website.

Aanbevelingen

- Wij bevelen aan deze methode te testen op use cases in de boomteelt en akkerbouw. Dit kan meer inzicht geven in de mogelijkheden en onmogelijkheden van de methode, en indien nodig, de methode te verfijnen en/of aan te passen;
- Wij bevelen aan de methode en/of website aan de hand van gebruikerswensen aan te passen;
- Wij bevelen de ontwikkeling aan van een *application programming interface* (API, 'digitale stekkerdoos') waarmee het voor derden mogelijk wordt om hun eigen software / websites te koppelen met onze tool.

5.2.8 Literatuurlijst

Referenties

- Bezdek, J.C., R. Ehrlich, W. Full, 1984. FCM: The Fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences* 10:191–203.
- de Gruijter, J.J. & McBratney, A.B., 1988. A modified fuzzy k-means method for predictive classification. *In: Classification and Related Methods of Data Analysis* (ed. H.H. Bock), pp. 97–104. Elsevier, Amsterdam.
- Dennerly, C., J. Huang, R. Nielson, M. Sefton, J. Triantafilis, 2018. Identifying soil management zones in a sugarcane field using proximal sensed electromagnetic induction and gamma-ray spectrometry data. *Soil Use and Management* 34: 219-235
- Hartigan, J.A. and M.A. Wong, 1979. Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm. *Applied Statistics* 28:100–108
- McBratney, A.B & de Gruijter, J.J., 1992. A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades. *Journal of Soil Science* 43:159-175
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2002. FuzME version 3.0, Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, Australia.
- Walvoort, D.J.J., Brus, D.J., and de Gruijter, J.J. (2010) An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means *Computers & Geosciences* 36: 1261-1267 Available online at <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2010.04.005>
- Whelan, B.M., McBratney, A.B., 2003. Definition and interpretation of potential management zones in Australia. Australian Society of Agronomy. "Solutions for a better environment". Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, 2-6 Feb. 2003, Geelong, Victoria.

6 Strategische perceelinformatie

6.1 Ondersteunende ICT en Autonome navigatie

Auteurs: Henk Janssen en Inge La Rivière

Uitvoerende partijen: ZLTO, Agrifrim Plant B.V., HWodKa (telers) en Wageningen UR

6.1.1 Samenvatting

Het deelproject is opgesplitst is aan het begin van het project in overleg met Agrifirm en ZLTO opgesplitst in twee lijnen: 1) GAOS (Geo-Akker-Optimalisatie-Service) op Akkerweb en 2) Bodempaspoort.

De bestaande GAOS-applicatie is technisch en wat betreft user interface aangepast voor ontsluiting via een applicatie platform Akkerweb: technische benadering via web-services, functionaliteit en user interface door ontwerpen van een 'Akkerweb-look and feel'. GAOS is in 2019 op het Akkerweb-platform geplaatst en wordt in 2019 door deelnemers aan de Nationale Proeftuin Precisie Landbouw onder begeleiding van specialisten van WUR in de praktijk toegepast.

Samen met ZLTO is een prototype van het Bodempaspoort gerealiseerd. De ambitie van ZLTO met betrekking tot het Bodempaspoort (www.bodempaspoort.nl) is als volgt verwoord: 'Opbouwen van een gegevensset van percelen om daarmee over de jaren inzicht in bodemkwaliteit te krijgen. Een paspoort als getuigschrift voor vitaliteit van het perceel.' In 2019 is het Bodempaspoort onderdeel van het ontwikkelen van een BodemIndex.

6.1.2 Aanleiding

Het deelproject *Ondersteunende ICT en Autonome navigatie: Strategische perceelplanning* is geïnitieerd door ZLTO. ZLTO wilde in dit project onderzoeken op welke manier agrarische ondernemers hun perceelplanning strategisch kunnen optimaliseren. ZLTO had als doel daarbij geografische perceelinformatie (ligging, grenzen, perceeleigenschappen) te combineren met aanvullende (randvoorwaarden stellende) ruimtelijke informatie (waterwinning, grondsoort, natuurgebieden, etc.) en Europese regelgeving zoals beschreven in het nieuwe Europese landbouwbeleid (CAP). Door deze verzamelde data en kennis te integreren in een methodiek wordt het mogelijk een dienstverlening te ontwikkelen waarmee agrarische ondernemers worden geadviseerd bij hun perceelsinrichting.

Het deelproject bouwt voort op verschillende projecten die zijn geïnitieerd door een groep boeren uit de Hoekse Waard (www.HWodKa.nl). Al in 2008 is deze groep boeren begonnen met het optimaal inrichten van hun gewaspercelen binnen RTK-nauwkeurig ingemeten grenzen van hun topografische perceel. In het project Akkerbouw in groen en blauw (AG&B) fase 2 (H-WodKa, 2010) is een prototype webapplicatie genaamd GAOS ontwikkeld voor optimalisatie van de inrichting van akkerbouwpercelen. GAOS staat voor Geo-Akker-Optimalisatie-Service. Om duidelijk richting te geven aan de door de akkerbouwpraktijk gewenste ontwikkelingen wil HWodKa GAOS benutten voor map-based Controlled Traffic Farming (CTF). Mapbased CTF volgens HWodKa is gebaseerd op een set bewerkingskaarten (geo-akkerplannen), met werklijnen voor alle bewerkingen voor alle teelten in een rotatie, met de kenmerken dat de werklijnen onderling optimaal gesitueerd zijn en dat daarnaast de werklijnen optimaal gesitueerd zijn t.o.v. de perceelgrens (De Bruin, 2011; De Bruin *et al.*, 2010a; De Bruin *et al.*, 2010b).

GAOS verdeelt een nauwkeurig ingemeten perceel (de Bruin *et al.*, 2009b) in een cultuurakker en een natuurakker. De resulterende vorm en afmetingen van de cultuurakker zijn zodanig dat bewerkingen op een effectieve (minimale overlap) en efficiënte manier (minimaal manoeuvreren in combinatie met gunstige benutting van beschikbare ruimte) kunnen worden uitgevoerd (de Bruin *et al.*, 2009a). De inrichting van de cultuurakker door GAOS bestaat uit het realiseren van werklijnen voor een

bewerking, bijvoorbeeld poten van aardappelen. Deze werklijnen, voor bewerkingen van de kop-, romp- en zijakker(s), kunnen naar de boordcomputers van trekkers die zijn uitgerust met RTK navigatiesystemen worden geëxporteerd. Nadat de bestuurder zijn trekker op een werklijn gepositioneerd heeft, kan de trekker de werklijn automatisch volgen. Op deze wijze wordt de geplande inrichting op een nauwkeurige, reproduceerbare manier gerealiseerd en wordt een basis gelegd voor van map-based CTF met als doel:

- de bodem te beschermen tegen ongecontroleerde belastingen door veldverkeer;
- een perceel in te richten in productiezones t.b.v. een te optimaliseren benutting van alle inputs (bij grondbewerking, zaaien, poten, bemesting, onkruidbestrijding, gewasbescherming) ten bate van productiviteit, kwaliteit en milieu.

Naast ZLTO is ook Agrifirm aangesloten in dit deelproject. Agrifirm wil de tool GAOS voor een grote groep in precisielandbouw geïnteresseerde boeren beschikbaar maken via het platform Akkerweb (www.akkerweb.nl). De tool zoals die in de projecten met HWodka is ontworpen en gebouwd door Wageningen Universiteit & Research is echter niet zondermeer geschikt voor gebruik door onervaren gebruikers. De founding fathers van HWodka werken in de praktijk gezamenlijk met hun collega's met de tool en richten op die manier percelen optimaal in. Om de grote groep boeren te bereiken moet de tool gebruiksvriendelijk worden gemaakt, en daarnaast kunnen draaien op goed bereikbaar platform, zoals het Akkerweb platform.

De initiële vraag van ZLTO in het project Precisielandbouw 2.0 was om een data- en kennisgestuurde methodiek en/of tool te ontwikkelen waarmee agrarische ondernemers hun perceelplanning strategisch kunnen optimaliseren in relatie tot ruimtelijke vraagstukken als onderdeel van het nieuwe Europese landbouwbeleid (CAP 2015). In de praktijk is die vraag vertaald naar het opzetten van een Bodempaspoort waarin boeren gegevens over hun bodem op perceelsniveau vastleggen.

Het dossier bodem staat vanaf 2015 op de agenda van ZLTO. Het belang van de bodem en de extra interesse in bodemkwaliteit blijken onder meer uit leden-enquêtes en uit bestuurlijke wensen. Daarom is ZLTO anno 2015 aan de slag gegaan met het opzetten van een Bodemprogramma. 2015 was ook het jaar dat door de FAO werd uitgeroepen tot "International year of soils". Dit bood een mooie kans om het ZLTO Bodem-programma extra in het licht te zetten (Van der Schoot, 2017).

Vitale bodems zijn van belang voor het leveren van een groot aantal ecosysteemdiensten voor boeren, waterbeheerders en andere landgebruikers. Een vitale bodem heeft een gevarieerd bodemleven, een goede bodemstructuur en is in staat om stoffen en water te bufferen. Recente studies laten zien dat de kwaliteit van Nederlandse landbouwbodems onder druk staat en dat bodemdegradatie het aanwezige bedrijfskapitaal negatief beïnvloedt. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn i) de trage verandering en slechte zichtbaarheid van bodemkwaliteit, ii) de beperkte invloed van de bodemkwaliteit op de economische waarde van landbouwgrond, en iii) de beperkte mogelijkheid om nadelige gevolgen van bodemdegradatie te compenseren. Recente ontwikkelingen in de sector - zoals de Landbouwvisie op kringlooplandbouw, de Actieagenda Duurzaam Agrarisch Bodembeheer, het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer en het Deltaplan Biodiversiteitsherstel - laten zien dat er anno 2019 een transitie aan de gang is richting verdere verduurzaming van de landbouw. De bodem speelt in al deze ontwikkelingen een sleutelrol (Ros, 2019, mondelinge mededeling).

ZLTO heeft samen met het Groen Ontwikkelfonds Brabant (www.groenontwikkelfondsbrabant.nl) de wens geformuleerd en uitgewerkt om een Bodempaspoort te ontwikkelen. In het Bodempaspoort worden gegevens op perceelsniveau door gebruikers vastgelegd. Uitgangspunt is dat percelen steeds vaker kortdurend worden verpacht aan een wisselende groep agrariërs. Door de korte duur van de pacht worden gebruikers (mogelijk) niet gemotiveerd om de bodemkwaliteit op peil te houden, en ontbreekt inzicht in historische informatie van percelen. In een Bodempaspoort kan informatie over bemonsteringen en analyses worden vastgelegd, visuele waarnemingen over de toestand van het perceel tijdens het groeiseizoen worden geregistreerd en de genomen maatregelen worden opgeslagen.

ZLTO zet het bodempaspoort in bij de bewustwording omtrent bodemkwaliteit en bodemgebruik bij ondernemers. Als gebruikers weinig aandacht hebben voor bodemkwaliteit, dan leidt dit op termijn tot verarming en het uitmijnen van de grond, en het verlies van bodemstructuur. De gewassen worden

daardoor kwetsbaarder. Dat brengt voor de boer het risico met zich mee van een mislukte oogst, en er zijn meer kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen nodig. Een robuuste bodem zorgt dat een gewas minder snel last heeft van teveel of te weinig water, beter bestand is tegen ziekten en plagen, en dat nutriënten minder snel uitspoelen. Met een Bodempaspoort kan de verdere inzet van 'duurzame bodemaatregelen' bespreekbaar worden gemaakt en kan het Bodempaspoort als basis dienen voor een bodembeheerplan voor agrariërs. Daarnaast is het Bodempaspoort een instrument dat de bodemkwaliteit bij pacht borgt en informatie over de kwaliteit van de bodem bij overdracht van gronden inzichtelijk maakt.

6.1.3 Doel van het project

Binnen het deelproject Ondersteunende ICT en Autonome navigatie: Strategische perceelplanning zijn door respectievelijk Agrifirm en ZLTO twee doelen geformuleerd:

- Operationaliseren van GAOS op Akkerweb, zodat de rijpaden optimalisatie routine voor een grote groep precisielandbouw boeren beschikbaar komt;
- Ontwerpen, ontwikkelen en in de praktijk testen van een prototype van het Bodempaspoort waarin op perceelsniveau analyse gegevens, visuele observaties en gekozen maatregelen kunnen worden vastgelegd.

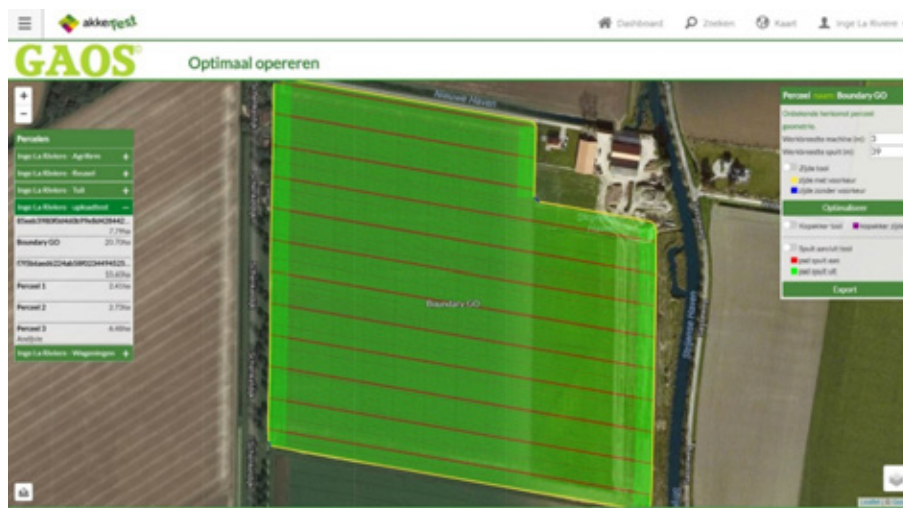
6.1.4 Aanpak

6.1.4.1 GAOS op Akkerweb

Op basis van de bestaande GAOS-applicatie zoals die in de hierboven beschreven projecten met HWodKa is ontwikkeld en geoperationaliseerd, is een ontwerp gemaakt voor een toepassing die geschikt om aan alle boeren in Nederland aan te bieden. De originele GAOS-applicatie is gebouwd als tool voor specialisten, waardoor de tool niet gemakkelijk toegankelijk is voor een individuele boer, die slechts enkele malen met de tool zal werken. In de praktijk worden boeren in de Hoekse Waard begeleid door ervaren gebruikers.

De GAOS applicatie (Figuur) biedt ondersteuning bij het optimaal inrichten van rijpaden op een perceel door:

- Importeren van RTK-ingemeten ('centimeter-nauwkeurige') perceelsgeometrie in de applicatie. Deze geometrie kan – indien beschikbaar – ook rechtstreeks via het Akkerweb-platform worden geïmporteerd;
- Aan de hand van o.a. opgegeven machine werkbreedtes, kopakkerligging, en voorkeursbewerkingsrichting geautomatiseerd uitgevoerde ruimtelijke optimalisatie van rijpaden-projectie;
- Exporteren van rijpaden-geometrie in verschillende formaten zodat de berekende rijpaden direct kunnen worden geïmporteerd in de boordcomputer van de gebruiker.



Figuur 6.1-1 Gebruikers interface van GAOS op Akkerweb.

De GAOS-applicatie is geschikt gemaakt om te draaien op het platform Akkerweb. In overleg met designers van Agrifirm en Akkerweb is een workflow en user interface ontwerp gemaakt in de styling van Akkerweb waarmee de functionaliteit van GAOS door boeren optimaal kan worden gebruikt. Daarnaast is de techniek aangepast waardoor de functionaliteit van GAOS via webservices benaderbaar wordt, en de aansluiting met Akkerweb technisch kan worden geregeld. De uiteindelijke tool (werktitel 'GAOS: Optimaal opereren') is getest door precisielandbouwspecialisten van Agrifirm en door vertegenwoordigers van Hwodka en geschikt bevonden om met praktijkboeren te gaan testen.



Figuur 6.1-2 GAOS: optimalisatie en praktijk.

Figuur 6.1-2 toont een luchtfoto van een met GAOS geoptimaliseerd perceel in de Hoekse Waard. De inzet linksonder in het plaatje is een screenshot van het optimalisatie resultaat in de web-applicatie van GAOS.

6.1.4.2 Bodempaspoort

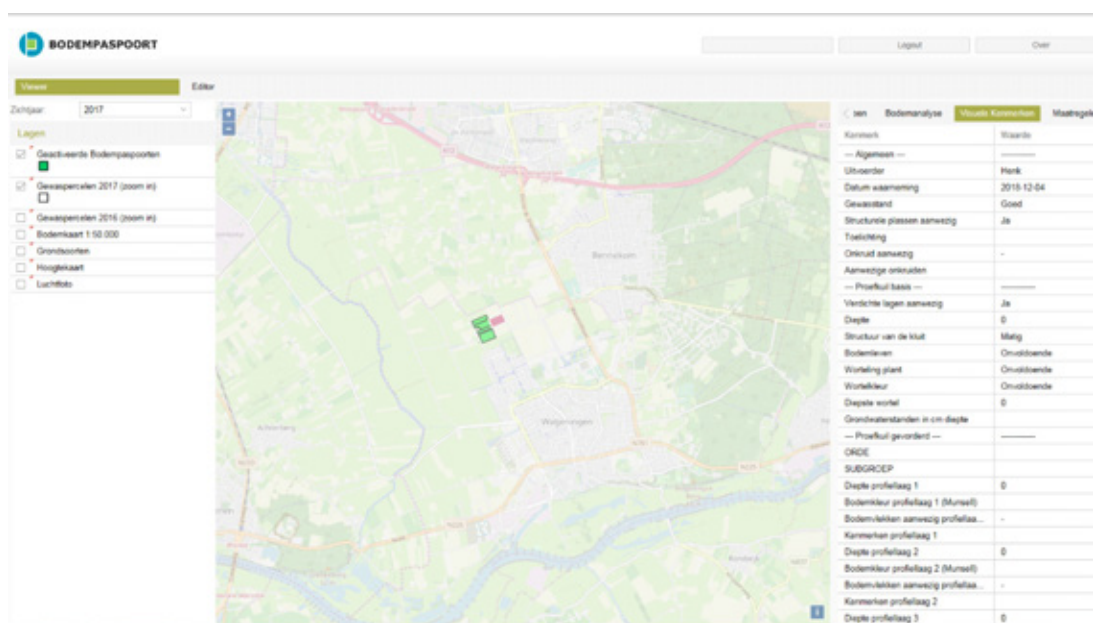
In het project is de wens van ZLTO naar bewustwording omtrent bodemkwaliteit en bodemgebruik bij agrarisch ondernemers vertaald naar het opzetten van een Bodempaspoort waarin boeren gegevens over hun bodem op perceelsniveau kunnen vastleggen. Met een Bodempaspoort kan de verdere inzet van 'duurzame bodemmaatregelen' bespreekbaar worden gemaakt en kan het Bodempaspoort als basis dienen voor een bodembeheerplan voor agrariërs. Daarnaast is het Bodempaspoort een instrument dat de bodemkwaliteit bij pacht borgt en informatie over de kwaliteit van de bodem bij overdracht van gronden inzichtelijk maakt.

De functionaliteit van het eerste prototype is opgesteld in overleg tussen ZLTO, Groen Ontwikkefonds Brabant en Wageningen Environmental Research. De applicatie is opgebouwd uit de volgende onderdelen (Figuur 6.1-3):

- Een interactief geografisch online user interface waarin de gebruiker kan inloggen en zijn percelen kan selecteren en beheren. In het Bodempaspoort worden de percelen zoals ze bekend zijn bij RVO in de Basis Registratie Percelen gekoppeld. Een account kan door elke gebruiker op www.bodempaspoort.nl worden aangevraagd;
- In het geo-interface worden verschillende externe kaartlagen aangeboden, zoals de Bodemkaart, grondsoorten gegevens, AHN (Algemene Hoogtekaart Nederland), luchtfoto's. Deze lijst van kaartlagen is in de applicatie in de beheerdersmodule eenvoudig uitbreidbaar;
- Per perceel kan in de applicatie een Paspoort worden ingevuld. De Algemene informatie van een perceel omvat gegevens over oppervlakte, insporing, rijpaden informatie, drainage, aaltjesbemonsteringen, gps-AB-lijn beschikbaar, optische gewasbeelden beschikbaar, bodemscan, etc. De informatie zélf is (nog) niet in alle gevallen opgenomen in het Bodempaspoort;

- Bodemanalyse is als apart Tabblad opgenomen in het Bodempaspoort. De gegevens die door een bemonsterende instantie worden geleverd, kunnen op perceelsniveau worden vastgelegd (N, P, S, K, Ca, etc.);
- Visuele kenmerken zoals gewasstand, aanwezigheid van plassen, onkruid, profielkuildata (verdichte lagen, kluitstructuur, bodemleven, bewortelingsdiepte, grondwaterstand, etc.) worden in klassen geregistreerd op een separaat tabblad in de tool;
- Genomen maatregelen ter bevordering/bescherming van de bodemkwaliteit zoals informatie over bandenspanning, rassenkeuze, plantrichting, greppels, slotenonderhoud, organische stofbemesting en informatie over de teelthandelingen tijdens de verschillende teeltstadia (voorjaarsgrondbewerking, zaaien/planten, gewasverzorging, oogst, volggewas kan in het tabblad Maatregelen worden geregistreerd

Het ZLTO Bodempaspoort is een online applicatie (www.bodempaspoort.nl) waarin gegevens over de bodemkwaliteit op perceelsniveau worden vastgelegd, en waarin achtergrondgegevens van percelen raadpleegbaar zijn.



Figuur 6.1-3 Bodempaspoort online applicatie: visuele kenmerken.

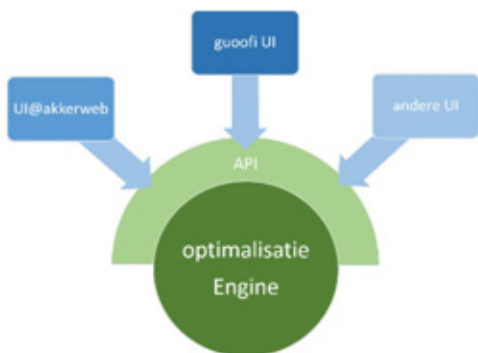
6.1.5 Resultaten, valorisatie en discussie

6.1.5.1 GAOS op Akkerweb

De rijpaden-optimalisatie-app GAOS is in 2019 op het platform Akkerweb ontsloten en wordt in 2019 binnen het programma Nationale Proeftuin Precisielandbouw (www.proeftuinprecisielandbouw.nl) met ondersteuning van specialisten van WUR toegepast. Dat opent de weg naar een bredere uitrol in de praktijk en valorisatie van de ontwikkelde kennis en tools.

Op termijn is GAOS bijvoorbeeld toepasbaar om de natuuraspecten in samenhang met agrarische productie verder ontwikkelen, of om een optimalisatie uit te werken die rekening houdt met minimaliseren van bodemverdichting op een perceel (afhankelijk van sub-perceel opbrengstschattingen, draagkracht van de bodem, schaduwen, machinegewicht, tramline aanpak door hergebruik van rijpaden, etc.).

Naast het project Precisielandbouw 2.0 is in de afgelopen jaren in een ERAnet ICT Agri project (DEM CCT – Optimove) Controlled Traffic Farming project met onder andere de Universiteit van Aarhus samengewerkt waarbij het optimale gebruik met de door GAOS optimaal geïmplementeerde rijpaden is gecombineerd. Aarhus heeft een tool ontwikkeld waarmee het optimale gebruik van rijpaden kan worden berekend.



Figuur 6.1-4 Architectuur schema van de GAOS Optimalisatie Engine in samenhang met gebruikerstoepassingen.

Deze Optimove versie van GAOS heeft een Engelstalige HTML/JavaScript front-end (functioneel vergelijkbaar met de Akkerweb versie) en een processing engine, die linked aan de in Precisielandbouw 2.0 ontsloten GAOS-optimalisatie-engine (Figuur 6.1-4). Deze processing engine maakt gebruik van een 'perceels data-enveloppe' waarmee perceel gerelateerde informatie aan de perceelsgeometrie toegevoegd kan worden, en waardoor de GAOS-optimalisatie-engine flexibel kan worden benaderd. De enveloppe wordt in de huidige versie gevuld met zijdes, paden, kopkokers, e.d. Het grote voordeel van deze opzet is dat deze in de toekomst makkelijker uitgebreid kan worden met obstakels en vergroening en nieuwe onderdelen voor bijv. routing en zonering. De functionaliteit van de GAOS-optimalisatie-engine moet dan wél worden uitgebreid, maar de communicatie met de tool kan via de perceels data-enveloppe verlopen.

Voor dat project zijn door Wageningen Environmental Research services opgeleverd, waarmee de projectpartners aan de GAOS Optimalisatie Engine web-service die gehost wordt door Wageningen Environmental Research een geometrisch perceel (middels de perceels data-enveloppe) kunnen aanbieden, en een optimale positionering van rijpaden op dat perceel terugkrijgen. De Deense partners berekenen vervolgens het optimale gebruik van deze rijpaden, dus bijvoorbeeld de optimale route die een machine over de rijpaden moet volgen. Deze informatie zou aan de boordcomputer van een trekker kunnen worden aangeboden.

Dus slimme perceelsinrichting én slimme routing.

6.1.5.2 Bodempaspoort

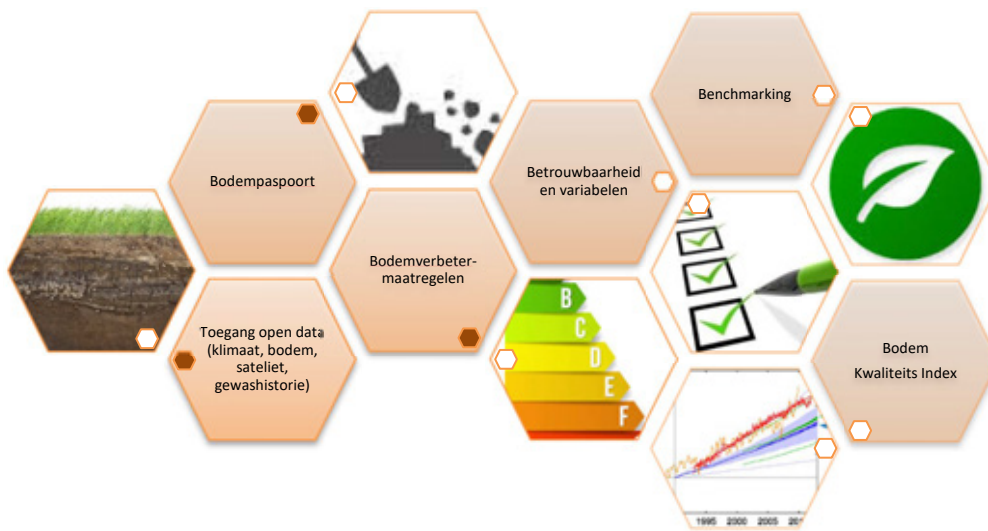
Het Bodempaspoort is door studiegroepen van ZLTO onder begeleiding getest. Het Bodempaspoort geeft de mogelijkheid om data op perceelsniveau te registreren waardoor een monitoringstool ontstaan waarmee de geschiedenis van een perceel kan worden gevolgd.

Een Bodempaspoort geeft daarnaast de mogelijkheid om een benchmarktool te ontwikkelen om (effect van) managementmaatregelen met elkaar te vergelijken over langere tijd. Of juist heel praktisch geredeneerd vanuit een aardappelboer: 'Ik wil een perceel van 15 hectare waar berekening mogelijk is en waar de afgelopen 4 jaar géén rooigewassen hebben gestaan'. Of juist het onderzoeken van de gevolgen van niet-kerende-grondbewerking op een bepaalde zandgrond, over een bepaalde tijdseenheid. Deze mogelijkheden komen straks allemaal dichterbij.

Het Bodempaspoort kan als instrument fungeren om afspraken te maken binnen bijvoorbeeld kortlopende pachtconstructies. Stel dat een grondgebruiker binnen een kortlopende pachtconstructie merkt dat er bekalkt dient te worden, de kosten hiervan komen voor zijn rekening. Door enkele jaren te bekalken ontstaat een groter rendement door bodemkwaliteitsverbetering. De uiteindelijke baten komen dan na de pachtperiode ten goede aan de grondeigenaar. Door deze maatregelen te registreren in het Bodempaspoort kan de gebruiker afspraken maken met de grondeigenaar om bijvoorbeeld de kosten (deels) te vergoeden (Van der Schoot, 2017).

Zoals gesteld, neemt de aandacht voor het handhaven van bodemkwaliteit toe. In 2018 hebben ASR, Rabobank en Vitens de handen ineen geslagen en zich ten doel gesteld om 'gezamenlijk een dynamische bodemindex gaan ontwikkelen om zo bij te dragen aan gezonde landbouwbedrijven,

behoud van de waarde van landbouwgrond en een betaalbare grondwaterwinning. De initiatiefnemers geven hiermee gehoor aan de oproep van minister Schouten van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in haar Bodembrief aan de Tweede Kamer om onze bodem duurzamer te beheren' (Rabo, press release 2018). De partijen hebben zich verenigd in de Bodem Coalitie.



Figuur 6.1-5 Bodempaspoort als puzzelstukje van een Bodem Kwaliteits Index.

Het Bodempaspoort kan een rol spelen in realiseren van BodemIndex waarmee de bodemkwaliteit kan worden gewaardeerd en gemonitord. Combinatie en integratie van i) vastgelegde gegevens op (sub)perceelsniveau in het Bodempaspoort, ii) beschikbare Open Data over klimaat, bodem en iii) de wetenschappelijke vertaling van gestandaardiseerd gemeten waarden naar een objectieve bodemkwaliteitsbeoordeling (Figuur 6.1-5). In o.a. het initiatief Soil Health Index (www.soilhealthindex.nl) is de wetenschappelijke onderbouwing voor een BodemIndex beschreven.

'De Soil Health index is een systeem wat het functioneren van deze processen meet aan de hand van een aantal 'key-parameters', en de uitkomsten van deze metingen vertaalt naar afzonderlijke indexen en naar een gecombineerde index die voor iedereen begrijpelijk is.'

Valorisatie van het Bodempaspoort, of een BodemIndex die is gebaseerd op vastgelegde gegevens op perceelsniveau, kan worden vergeleken met een energielabel van een woning. Een BodemIndex, in de stijl van het energielabel van huizen, geeft agrarische ondernemers veel beter inzicht in de bodem die zij gebruiken en hoe ze deze beter kunnen beheren. De index kan een middel zijn om agrariërs die duurzaam omgaan met hun grond, financiële voordelen te bieden. Dat kan bijvoorbeeld door gunstiger rentetarieven voor boeren die hun bodem aantoonbaar beter beheren, beloning van beter bodembeheer via EU-landbouwsubsidies en toegang tot impact investors die beleggingen met een maatschappelijk doel voorop hebben staan (Rabo Press Release, 2018).

6.1.6 Conclusie en aanbevelingen

Conclusies

- GAOS (op Akkerweb) is een bruikbare tool voor agrariërs die het cultuurperceel binnen hun topografische perceel optimaal willen inplannen. De resulterende vorm en afmetingen van de cultuurakker na optimalisatie met GAOS zijn zodanig dat bewerkingen op een effectieve (minimale overlap) en efficiënte manier (minimaal manoeuvreren in combinatie met gunstige benutting van beschikbare ruimte) kunnen worden uitgevoerd;
- Het gebruikersinterface van GAOS moest worden afgestemd op de praktische gebruiker om de acceptatie in de praktijk te vergroten. Mede om die reden is een introductie via NPPL een goede beslissing;

-
- Het Bodempaspoort is een bruikbaar instrument voor vastlegging van de historie van een perceel, waar het gaat om metingen, observaties, teelthistorie en maatregelen.

Aanbevelingen

- Op termijn is GAOS toepasbaar om de natuuraspecten in samenhang met agrarische productie verder ontwikkelen, of om een optimalisatie uit te werken die rekening houdt met minimaliseren van bodemverdichting op een perceel (afhankelijk van sub-perceel opbrengstschattingen, draagkracht van de bodem, schaduwen, machinegewicht, tramline aanpak door hergebruik van rijpaden, etc.);
- Ontwikkelen van een optimalisatie van *gebruik* van de rijpaden is een toekomstige aanvulling op GAOS;
- Het Bodempaspoort kan een essentieel onderdeel zijn bij het ontwikkelen van een BodemIndex.

6.1.7 Literatuurlijst

Referenties

- De Bruin, S., Lerink, P., Klompe, A., van der Wal, T., Heijting, S., 2009a. Spatial optimisation of cropped swaths and field margins using GIS. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68 (2), 185-190.
- De Bruin, S., Heuvelink, G.B.M., Brown, J.D., 2009b. Propagation of positional measurement errors to agricultural field boundaries and associated costs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63 (2), 245-256.
- De Bruin, S. and H. Janssen, 2010a. Field geometry, auto steering and services. Abstracts GeoFARMatics conference Köln, 24-26 November 2010, p. 28.
- De Bruin, S., Janssen, H.; Klompe, A.; Lerink, P.; Vanmeulebrouk, B., 2010b. GAOS: Spatial optimisation of crop and nature within agricultural fields. The International Conference on Agricultural Engineering, Towards Environmental Technologies (AgEng2010), Clermont-Ferrand, France, 6 - 8 September, 2010.
- De Bruin, S., 2011. Map-based CTF met GAOS, Wageningen University, departement Omgevingswetenschappen, Afdeling(en) Laboratorium voor Geo-informatiekunde en remote sensing. PE&RC, Research report.
- H-Wodka, 2009. Akkerbouw in Groen en Blauw - verslag van fase 1 van het project Akkerbouw in Groen en Blauw. Beschikbaar via http://www.hwodka.nl/nieuws_detail.php?nieuws_id=55.
- H-Wodka, 2010. Akkerbouw in Groen en Blauw fase 2. Beschikbaar via http://www.hwodka.nl/nieuws_detail.php?nieuws_id=69.
- Rabo, press release, 2018. <https://www.rabobank.com/nl/press/search/2018/20180607-asr-vitens-bodemindex.html>
- Schoot, M.J.J. van der, 2017. Wie draagt de kosten voor het onderhoud van de bodem? Een Bodempaspoort voor agrarische percelen, *Bodem nummer 4*, augustus 2017

Deelprojectoutput

Toegang tot GAOS: www.akkerweb.eu

Toegang tot het Bodempaspoort: www.bodempaspoort.nl

7 Communicatie en Kennisverspreiding

Auteurs: Chris van Dijk, Geert Hermans, Alfred Pot, Corné Kocks en Corné Kempenaar
Uitvoerende partijen: Wageningen UR, Aeres en ZLTO

7.1 Communicatie

De kennisverspreiding vanuit PL2.0 bestond uit intern overleg over de deelprojecten heen, doorstroming van kennis naar het groen onderwijs (via projectpartner Aeres Hogeschool, Dronten), onderzoeksrapporten, artikelen, vakbladen, nieuwsbrieven en presentaties op beurzen en op websites. De resultaten uit het onderzoeksprogramma dienden zo breed mogelijk verspreid te worden. In dit deelproject was ruimte begroot voor interactie tussen deelprojecten en interactie met groen onderwijs en onderzoek bij HAO, MAO en LAO. Interactie tussen de deelprojecten is gerealiseerd door middel van jaarlijkse programmabijeenkomsten waarin resultaten zijn gedeeld tussen de PL2.0 partners. Verder is het zo dat er in het HBO- en MBO-onderwijs momenteel veel vraag is naar en aandacht voor precisielandbouw is. In het Centre of Expertise (CoE) 'Open Teelten', een samenwerkingsverband van de groene hogescholen, is precisielandbouw een business case. In het Centrum voor Innovatief Vakmanschap (CIV) wordt onderwijsontwikkeling voor MBO gedaan. Bij Aeres Hogeschool is er het lectoraat precisielandbouw.

Onderzoeksrapporten, artikelen, vakbladen, nieuwsbrieven

2018

- Been, Th., Kempenaar, C., van Evert, F.K., Booij, J.A., Hoving, I., Michielsen, J.M., Kessel, GJ, Philipsen, B, Janssen, H, 2018. Akkerweb, a new platform for use of spatial and temporal data in precision farming. Abstract in Proceedings AgEng conference, 8 – 11 July 2018. Wageningen. <https://www.eurageng.eu/events/ageng2018>
- Booij, J.A., Evert, F.K., Geel, Willem, C.A. van, Kroonen-Backbier, B.M.A. & Kempenaar, C., 2018. Towards a more sustainable way of nitrogen management in potatoes. Abstract in Proceedings AgEng conference, 8 – 11 July 2018. Wageningen. <https://www.eurageng.eu/events/ageng2018>
- de Bruijn, H., Kempenaar, C., 2018. Precisielandbouw bevordert verduurzaming sector. Webartikel, september 2018. <http://www.agro-food.nl/innovatie/precisielandbouw-bevordert-verduurzaming-sector>.
- van Evert, F.K., T. Been, J.A. Booij, C. Kempenaar, J.G. Kessel, P.L. Molendijk, 2018. Akkerweb: A Platform for Precision Farming Data, Science, and Practice. Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture, June 24 – June 2, 2018, Montreal, Quebec, Canada, . 9 pp.
- van Evert, F.K., Baron FJ, Been Th., Berghuijs H., Brdar S., Hoving I, Kessel G., Mimic G, van Randen Y, Riemens M., Kempenaar C., 2018. Combining data and models for decisions in precision agriculture. Abstractbook BioSB 2018. 4th Dutch Bioinformatics & Systems Biology Conference. Congrescentrum De Werelt, Lunteren, 15-16 May 2018.
- Kempenaar, C., Been, Th., Booij, J.A., van Evert, F.K., Michielsen, J.M. & Kocks, C.G. (2018). Advances in Variable Rate Technology Application in Potato in The Netherlands. Potato Research 60 3-4: pp 295-305 <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9357-4>.
- Keizer P, Schnable S & Riemens, M. Last frontier of Agricultural Big Data in Rotation? Scientific Symposium FAIR Data Sciences for Green Life Sciences. 12 December 2018, Wageningen, the Netherlands. Conference Proceedings. DOI: <https://doi.org/10.18174/FAIRdata2018.16289>.

2017

- Booij JA, van Evert FK, van Geel WCA, Kroonen-Backbier BMA, Kempenaar C., 2017. Roll-out of online application for N sidedress recommendations in potato. Abstract in proceedings of 2017 EFITA Congress, Montpellier, France, 02.07-06.07.2017, http://www.efita2017.org/wp-content/uploads/2017/09/EFITA_WCCA_2017_proceedings.pdf.

-
- van Evert FK, Fountas S, Jakovetic, D, Crnojevic V, Travlos I, Kempenaar C, 2017. Big data for weed control and crop protection. *Weed Research* 57-4 (2017): 218-233.
- van Evert FK, Gaitán-Cremaschi D, Fountas S, Kempenaar C, 2017. Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? *Sustainability* 9 (2017): 1863, 24 pp. doi:10.3390/su9101863.
- de Jaeger P & Kempenaar C, 2017. Meer melk met big data. Interview. *Parool* 25 februari 2017: p 53-54.
- Hoving I, Booij J, Kuiper I, Holshof G, Philipsen B, 2017. Grasopbrengst meten met remote sensing techniek. *V-Focus* oktober 2017
- Hoving I, 2017. Weidegang met Precisie. Interview voor betreffende artikel. *Boerderij* 20 juni 2017
- Hoving I. 2017. Grasopbrengsten bepalen met satelliet en dronebeelden.
<https://www.amazinggrazing.eu/nl/amazinggrazing-4/show/Grasopbrengsten-bepalen-met-satelliet-en-dronebeelden.htm>
- Hoving I. 2017. Meten van grasgroei met remote sensing techniek. Attentiemail Verantwoorde veehouderij. <https://www.verantwoordeveehouderij.nl/nl/Verantwoorde-Veehouderij-2/show-5/Meten-van-grasgroei-met-remote-sensing-techniek-.htm>
- Kempenaar C, Been Th, van Evert FK, Kocks CG, 2017. Advances in variable rate technology application in potato in The Netherlands. Key note and Abstract of 2017 EAPR Congress, Versailles, France, 09.07-14.07.2017, <http://www.eapr2017.com>.
- Kempenaar C, Booij JA, van Evert FK, Kocks CG, 2017. Crop sensing and phenotyping for precision agriculture. Key note and abstract at 2017 Agbio2017, Bangkok, Thailand, March 2017.
<http://agbio2017.com/wp-content/uploads/2016/12/Abstract-Kempenaar-et-al.pdf>.
- Kempenaar C, 2017. Willen jullie Meer of Minder Precisielandbouw? Column. *Aardappelwereld* 71-1: p. 9.
- Kempenaar C, 2017. Met sensoren komt weg vrij voor precisielandbouw 2.0. *Bejo Magazine* 2017: p. 38-39.
- Kempenaar C, 2017. Precisielandbouw moet geld opleveren. *Bloembollenkoerier* sept. 2017.
<https://agro.bayer.nl/nl-NL/Uit%20de%20praktijk/Publicatie/Koeriers/Bloembollen%20Koerier%20september%202017/Precisielandbouw%20moet%20geld%20opleveren.aspx>.
- Kempenaar C, Kocks CG, Been Th., van Evert FK, Nysten S, Westerdijk K, 2016. Towards data-intensive, more sustainable farming: advances in predicting crop growth and use of variable rate technology in arable crops in the Netherlands. In: Proceedings of ICPA conference, St. Louis, USA, July 2016. Paper 185, <https://www.ispag.org/icpa>.
- Kempenaar C, Hermans G, *et al.*, 2017. PPS Op naar Precisielandbouw 2.0. Handout projectresultaten. Wageningen Research, December 2017.
- Kempenaar C, 2017. Conquering challenges through smart farming. Web article, 31 January 2017.
<https://www.wur.nl/en/newsarticle/Conquering-challenges-through-Smart-Farming.htm>.
- de Laat H, Kempenaar C, 2017. Precisielandbouw: van boer naar ICT-er. Interview met co-auteur. *Technisch Weekblad* 27 april 2017 TW 16/17: 6-7.
<https://www.technischweekblad.nl/achtergrond/precisielandbouw-van-boer-naar-ict-er/item10270>.
- van Anker CW, Kempenaar C, 2017. Op weg naar Smart Farming. Gelders Living Lab. Web-artikel POP3 project. <https://netwerkplatteland.nl/op-weg-naar-smart-farming>.
- Smalle A., Kempenaar C. *et al.* 2017. Fritesindustrie groeit aar door. Interview met co-auteurs. *Boerderij* 102-30 p. 56-59.
- Tholhuijsen L, Kempenaar C, *et al.* 2017. Smart farming zal lonen. Hoe lang nog is de vraag? Interview met co-auteurs. *Boerderij* 102-31: A5-A7.
- Tholhuijsen L, Kempenaar C, 2017. Gezocht: Zes boeren die hun bedrijf toekomstbestendig willen maken met precisielandbouw. *Boerderij* 12 december: 2017.
<http://www.boerderij.nl/Home/Achtergrond/2017/12/Gezocht-6-telers-voor-precisielandbouw-223592E/>.
- Verbeek J, Zeemeijer I, Kempenaar C., 2016. De zelfrijdende tractor is er al, maar de echte hightechrevolutie op het land moet nog beginnen. Interview. *Financieel Dagblad* 28 december 2016: p. 8.

2015 en 2016

- Van Dijk, C.J., van der Zande, J.C., Kempenaar, C., 2016. Sensoren, doseermodellen en spuittechniek voor precisielandbouw. Wageningen Plant Research, Rapport 658.
- Van Evert, F.K., Been, Th., Berghuijs, H.N.C., A.J. Haverkort, C. Kempenaar, G.J.T. Kessel, E.J.J. Meurs, L.P.G. Molendijk, A.A. Pronk, D.A. van der Schans, W.C.A. van Geel, J.A. Booij, 2016. The Akkerweb platform: models and data to support precision farming. <http://www.agmip.org/6th-agmip-global-workshop-abstracts-session2-8/>
- Haverkort, A.J., Kempenaar, C., 2016. Recent advances in biotechnology and information technology in the potato industry. In: Proceedings Crop Protection in Northern Britain 2016, pages 183-190.
- Kamp, J.A.L.M., 2016. Ziekzoeker in aardappelen. Nieuwsbrief Onderzoek en Innovatie, BO-Akkerbouw. 24 jan. 2016.
- Kempenaar, C., van Evert, F.K., Been, Th., Kocks, C.G., Westerdijk, C.E., 2016. Towards data-intensive, more sustainable farming: advances in predicting crop growth and use of variable rate technology in arable crops in the Netherlands. Paper in Proceedings of ICPA conference, St. Louis, USA, 31 July 2016. <https://www.ispag.org/Proceedings>.
- Kempenaar, C., Lokhorst, C., 2016. Briefing paper 3: Trends in precision agriculture in the EU. In: Schrijver, R. (editor); Precision agriculture and the future of farming in Europe. Reference: STOA IP/G/STOA/FWC-2013-1/Lot 7/SC5.
- Kempenaar, C., Lokhorst, C., Bleumer, E.J.B., Veerkamp, R.F., Been, Th., Evert, F.K. van, Boogaardt, M.J., Ge, L., Wolfert, J., Verdouw, C.N., Bekkum, Michael van, Feldbrugge, L., Verhoosel, J.P.C., Waaij, B.D., Persie, M. van, Noorbergen, H., 2016. Big data analysis for smart farming. Wageningen Plant Research, Rapport 655.
- Kempenaar, C., Lokhorst, C., 2016. Trends in precision agriculture in the EU. Briefing Paper 3 in: Precision agriculture and the future of farming in Europe. STOA IP/G/STOA/FWC-2013-1/Lot 7/SC5. Editor. R. Schrijver, VetEffect, Hilversum.
- Nysten, SWP, Westerdijk, C.E., Kocks, C.G., Kempenaar, C. 2015. Showcase Hardenberg (NL) – Smart Farming in Grasslands. Abstract submitted to ICPA conference 2016 and grassland conference.
- Roerink, GJ, Mucher CMA, Meijningen WML, Visser, J., 2017. Greenmonitor: a simple and user friendly webbased interface to monitor vegetation dynamics. In: 9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp) conference proceedings.
- De Snoo, A., Kempenaar, C., 2015. Nog veel winst in de combinatie GPS en bodemdata. Bloembollenvisie 25: 20-21.
- Steele-Dunn, S.C., McNairn, H., Monsivais-Huertero, A., 2017. Radar Remote Sensing of Agricultural Canopies: A review. Journal of selected topics in applied earth observation and remote sensing. In press.

Presentaties

2018

- Eindsymposium PL2.0. <https://agrifoodtech.nl/programma/programma-dag-1/#track4>
- Kempenaar, C., 2018. Natuur inclusieve (precisie)landbouw. Nature meets High Tech. Presentatie tijdens studiedag Natuur ontmoet High Tech, georganiseerd door Bayer, Abbenes, 16 januari 2018. 40 toehoorders.
- Kempenaar, C., 2018. Precisielandbouw en kansen voor drones/ dronewerkers. Presentatie tijdens workshop Dronewerkers, Emmeloord, 26 januari 2018. 50 toehoorders.
- Kempenaar, C. & Been, Th., 2018. Akkerweb: Geo platform for advisory services and research. Presentatie tijdens cursus Sprayer academie, georganiseerd door Bayer, Abbenes, 16 maart 2018. 15 toehoorders.
- Kempenaar, C., 2018. Advances in precision arable farming: R&D and adoption. Presentatie tijdens Capigi conference in Amersfoort, 10 april 2018. Ca. 80 toehoorders.
- Kempenaar, C., 2018. Precisielandbouw-toepassingen in de aardappelteelt. Presentatie tijdens NAO aardappelcursus, Reusel, 5 juni 2018. 40 toehoorders.
- Kempenaar, C., 2018. Adoption of precision agriculture applications on Dutch farms. Presentatie tijdens GFIA congres, ProAgrica, Utrecht, 20 juni 2018. 80 toehoorders.
- Kempenaar C., Been, Th., *et al.*, 2018. Akkerweb: a platform for use of spatial and temporal data in precision farming. Presentatie tijdens AgEng conference, session 26, 10 juli 2018, Wageningen. Ca. 40 toehoorders.

-
- Kempenaar C., van Boheemen, K., 2018. Field 4.0: Precision agriculture on Dutch farms. Presentatie tijdens EUFresh Conference in Naaldwijk, 29 november 2018.
- Kempenaar, C., 2018. Nationale proeftuin precisielandbouw (NPPL). Presentatie tijdens Precisielandbouw symposium op AgriFoodTech beurs, Den Bosch, 12 december 2018. 80 toehoorders.
- Kempenaar, C., 2018. Nationale proeftuin precisielandbouw (NPPL). Presentatie tijdens studiedag Grond om te Boeren, Boerderij, ProAgrica, Arnhem, 13 december 2018. 120 toehoorders.
- Kempenaar, C., 2018. R&D and adoption of precision farming on Dutch farms. Gastles HAS Den Bosch 3^e jaars-studenten minor precisielandbouw, september 2018. Deelnemers 30 studenten en Peter van Oene (docent).

2017

- Booij JA, van Evert FK, 2017. Stikstof-bijbemesting in aardappelen op basis van reflectiemetingen. 12 januari 2017, Triferto bijeenkomst.
- Booij JA, van Evert FK, 2017. Roll-out of online application for N sidedress recommendations in potato. 3 juli 2017. Montpellier (EFITA conference).
- van Evert FK, 2017. Stikstof-bijbemesting in aardappelen op basis van reflectiemetingen: Booij. 2 februari 2017, CBAV dag, Nijkerk.
- van Egmond, F, Heuvelink G, Baltissen T, van der Sluis B, 2017. Presentatie voortgang deelproject 4a. Presentatie deelproject 4a, 7 februari 2017, Oene.
- van Egmond, F, 2017. Zonering en bodemscandata. Presentatie deelproject 4a, 20 juni 2017, Baarlo.
- Hoving IE, Philipsen B, 2017. Blij met sensoren in de wei. Presentatie Dairy Campus op 2 mei 2017, Leeuwarden.
- Hoving IE, Philipsen B, 2017. Presentatie tijdens gras en maïs manifestatie. september 2017, Vredepeel.
- Hoving IE, Philipsen, B., 2017. Meten en voorspellen van grasgroei. Presentatie AJK Achterhoek op 26 oktober 2017, Azewijn.
- Kamp, J, 2017. Voortgangsrapportage deelproject 2b ziekzoeker tijdens velddag, 5 juli 2017. NAK, Emmeloord.
- Kempenaar C, 2017. Ontwikkelingen precisielandbouw. Crop Solutions studiedag. Presentatie. 19 september 2017, Garderen.
- Kempenaar C, 2017. Towards smart potato production: an overview of advances in Precision Agriculture/Variable Rate Technology. Presentatie EAPR conference. 11 July 2017, Versailles, Fr.
- Kempenaar C, 2017. The future of farming – Precision farming. Presentatie EUPPA conference. 24 mei 2017, Brussel, België.
- Kempenaar C, 2017. Modern technology reshaping agriculture: Robotics & Internet of Things. Presentatie. Global Future Farming Summit. 12 December 2017, Wageningen.
- Kempenaar C, 2017. Met Precisielandbouw naar Landbouw met Meer Precisie (PL2.0 en meer). Presentatie. HT2FtW cross dag TKI HTSM en A&F dag. 15 juni 2017, Zoetermeer.
- Kempenaar C, 2017. Op naar Precisielandbouw 2.0 en verder. Presentatie. Veldleeuwerik dag. 15 juni 2017, Zeewolde.
- Kempenaar C & Hermans G, 2017. Mid-term review PPS Op naar Precisielandbouw 2.0 en verder. Presentatie. TKI A&F. 12 juni 2017, Wageningen.
- Kempenaar C, 2017. AF-14275. Op naar Precisielandbouw 2.0. Presentatie. AgriFood top 7 juni 2017, Wageningen.
- Kempenaar C, 2017. Precisielandbouw. Hoe Precies. Presentatie tijdens minor Smart Farming Technologie, Aeres Hogeschool. 17 oktober 2017, Dronten.
- Kempenaar C & Hermans G, 2018. Progress meeting PPS Op naar Precisielandbouw 2.0. PC meeting. Presentatie. TKI A&F. 24 januari 2018, Wageningen. Met bijdragen Tamme van der Wal en Corné van de Sande over voortgang deelprojecten 1b en 1a, resp.
- Riemens MM & Berghuijs H, 2017. Presentatie deelprojectresultaten 4a van PL2.0. mei 2017. Valthermond.

2015 en 2016

- Baltissen, T., 2016. Sensing, data, toepassingen. Presentatie tijdens Symposium 'Drones in de boomkwekerij', 20 oktober 2016.

-
- Hoving, I.E., 2016. Gebruik sensoren en modellen voor grasgroeivoorspelling. LTO-Noord Brainstorm sensorgebruik in de melkveehouderij, 7 juli 2016.
- Hoving, I.E., 2016. Van veehouder naar datamanager. Rabobank Gorinchem, 27 september 2016.
- Kempenaar, C Hoving, I.E., 2016. Grasgroeivoorspelling en opbrengstmeting. Reusel, 9 november 2016.
- Kamp, J.A.L.M., 2016. Smart Ziekzoeker 2015 Presentatie tijdens Aardappelpootgoeddag, 18 februari 2016.
- Kempenaar, C., Kocks, C.G., 2016 Mainstreaming precision farming. The missing link between data and implements. Rotterdam, 24 mei 2016.
- Kempenaar, C., Kocks, C.G., 2016 Zijn we klaar voor precisielandbouw 2.0? Presentatie tijdens WPC workshop. Abbenes, 18 mei 2016.
- Kempenaar, C., Kocks, C.G., Aan de slag met precisielandbouw. Presentatie tijdens Tour de Farm open dag van Farm Frites. Kruisland, 21 juni 2016.
- Kempenaar, C., Kocks, C.G., 2016 Duurzaam telen: moet en kan het steeds beter met precisielandbouw? Presentatie tijdens Week van de Akkerbouw. Biddinghuizen, 23 juni 2016.
- Kempenaar, C., 2016. Precisielandbouw en -bemesting: Ervaringen vanuit akkerbouw en meer. Reusel, 9 november 2016.
- Kempenaar, C., 2016. Meer met minder door data-intensieve high-tech (precisie)landbouw. Masterclass Smart Farming, Nyenrode en Boerderij. Breukelen, 28 november 2016.

AgriFood Tech beurs

Woensdag 14 december 2017 vond het AgriFoodTech Platform Congres plaats in de Brabanthallen in Den Bosch. Gelijk met het congres was er ook een AgriFoodTech Vakbeurs, met demonstraties, de nieuwste innovaties vanuit PL2.0, een drone area, etc.

Eindsymposium PL2.0 op 12 december 2018 tijdens de AgriFoodTech Vakbeurs in de Brabanthallen in Den Bosch.

Websites en internet-publicaties

www.precisielandbouw-openteelten.nl/pl-2-0

www.proeftuinprecisielandbouw.nl

www.precisielandbouw.eu/pl-2-0

www.akkerweb.nl

www.grondig.com/artikel/gewoon-beginnen

<http://resource.wur.nl/nl/show/Glyfosaat-niet-schadelijk-voor-gezondheid-.htm>

www.nvww.nl/document/precisielandbouw-en-bemesting-ervaringen-vanuit-akkerbouw-en-meer

www.ngm1780.nl/events/precisielandbouw/

www.weekvandeakkerbouw.nl/public/seminar/3.-corne-kempenaar_wageningenur_menu-van-de-toekomst-wvda-2016.pdf

www.nieuweoogst.nu/nieuws/2016/02/03/precisielandbouw-vraagt-gemak-tomtom

<https://fd.nl/economie-politiek/1180717/de-zelfrijdende-tractor-is-er-al-maar-de-echte-hightechrevolutie-op-het-land-moet-nog-beginnen>

www.deboomkwekerij.nl/nieuws/4253-discussie-over-precisielandbouw

www.bo-akkerbouw.nl/wp-content/uploads/2016/06/Nieuwsbrief_Onderzoek_en_Innovatie_01.pdf

<https://twitter.com/jalmkamp/status/743329328994254849>

7.2 Kennisverspreiding (ZLTO)

De door ZLTO uitgevoerde werkzaamheden stonden in dienst van testen, doorontwikkelen en feed back verzamelen voor verbetering van datasystemen. Door bedrijven te betrekken in de ontwikkeling van high tech producten vindt verdere innovatie plaats en dit biedt meer mogelijkheden voor implementatie in de toekomst. Tevens is er door ZLTO beleidsmatig gewerkt aan samenwerking tussen partijen om data uitwisseling en machtiging van data stromen landelijk goed door te ontwikkelen. De datasnelweg (Join Data) moet voor iedereen toegankelijk worden en de ondernemer moet zelf zijn data kunnen beheren.

Onderstaand een globaal overzicht van de vanuit ZLTO geïnitieerde praktijkgerichte acties waarbij kennis en informatie uit het PL2.0 onderzoeksprogramma is gedeeld. Feed back is in overleg met WUR doorgenomen en in de verschillende deelprojecten opgepakt.

Zuid-Gelderland BEWUST

In 2017 heeft de vorm van het project Zuid-Gelderland BEWUST meer vorm gekregen. Het project heeft ook de naam Vruchtbare Kringloop Gelderland gekregen. Tijdens dit project wordt in studiegroepen de huidige situatie rondom nutriënten in bodem en water besproken en gekeken waar verbeteringen mogelijk zijn. Daarnaast wordt er tijdens dit project gekeken naar opbrengstbepaling per perceel, waar de knelpunten zitten en wat optimaal is. Er wordt ingezet op een betere mineralen efficiëntie door het analyseren van data. In 2017 is meer duidelijk geworden hoe het project zich gaat vormen en zijn de voorbereidingen getroffen, in 2018 wordt gestart met de studiegroepen.

Sensortag

Vraagstelling vanuit de praktijk is er naar goede sensoren, IOT gestuurd voor in het veld. Een verkenning is uitgevoerd naar sensoren van Senortag. Deze zijn bij een paar ondernemers uitgezet door Sensortag om te testen en ervaring door ondernemers op te doen. De eerste ervaringen zijn gebruikt om de software aan te passen en het gebruiksgemak te verbeteren. Als knelpunt kwam de connectiviteit met andere systemen aan de orde. Dit knelpunt geldt voor alle nieuwe sensoren die op de markt gaan komen.

OPTIcow en OPTIakker

OPTIakker is opgezet voor benchmarking onder akkerbouwers. Vanuit de groep van 32 deelnemers zijn 12 bedrijven geselecteerd om mee te doen aan een pilotgroep. In de pilotgroep wordt zo veel mogelijk bedrijfsgegevens verzameld, zowel teeltgegevens als financiële data. Voor OPTIcow is in 2018 dynamische dashboard ontwikkeld waarmee melkveehouders zelf kunnen inloggen om gegevens te bekijken en te vergelijken.

Studiegroepen

Organiseren studiegroepen voor bespreken en evalueren van data. Kennis is gedeeld. In 2018 zijn er met 15 verschillende studiegroepen ongeveer 60 bijeenkomst georganiseerd. Tijdens deze bijeenkomsten zijn de bedrijfseigen data van de melkveebedrijven besproken. De onderwerpen zijn, kringloopwijzer, financieel en voerefficiëntie. Hierin zijn wij altijd op zoek naar verbetering van informatievoorziening en terugkoppeling van data. Deze bijeenkomsten zijn input voor de verdere ontwikkeling van het dashboard.

Proeftuin precisielandbouw

In Zuid Nederland zijn twee proeftuinen voor precisie landbouw opgezet. Zo`n 160 ondernemers uit verschillende plantaardige sectoren zijn hierbij via studiegroepen aangesloten. Er zijn regelmatig contacten gelegd om de kennis over en weer uit te wisselen en vraagstellingen en knelpunten zichtbaar te maken. Ook aansluiting met NL PPL project is gerealiseerd.

GLB wet en regelgeving / beleidszaken

Evenals in voorgaande projectjaren zijn ondernemers begeleid en geadviseerd om op een juiste manier met de wet- en regelgeving om te gaan en wat dat doet op perceelniveau. Ondernemers krijgen hierdoor beter inzicht in data, hoe het werkt en wat er mogelijk is binnen hun percelen.

Daarnaast zijn er een aantal landelijke bijeenkomst bezocht, inleidingen studieclubs GLB gegeven, artikelen geschreven en geluiden vanuit het veld doorgegeven aan LTO.

Akkerbelt

De GLB pilot de Akkerbelt (pilot in Zeeland) richt zich op de kansen voor een 'vergroening 'die ertoe doet' èn inpasbaar is voor de agrariër. Het onderdeel GIS / Data is hier een prominent onderdeel van: komen tot minder regeldruk /controles, o.a. door inzet van drones / sensoren en koppeling van data, etc.

Perceelwijzer

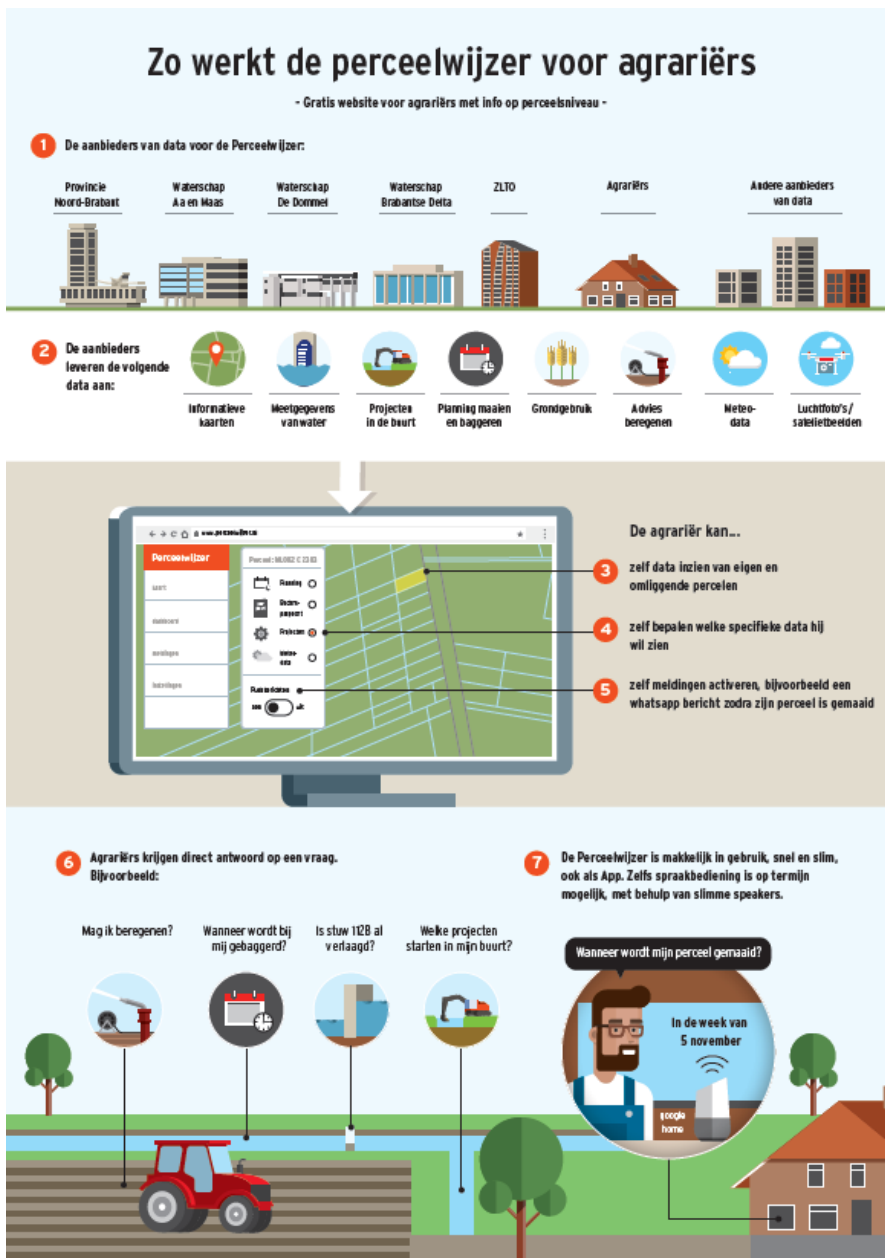
In 2018 is ZLTO in overleg gegaan met waterschappen om na te denken of en hoe bodempaspoort in de data vastlegging, ontsluiting en verspreiding van water gerelateerde data op perceel niveau gebruikt kan worden en een rol kan spelen. Dit overleg heeft ertoe geleid dat er een idee voor perceelwijzer is ontstaan en daarmee een samenwerking tussen de 3 Brabantse waterschappen, provincie en ZLTO (Figuur 7.2-1).

Vakgroep Boomteelt

Met de Vakgroep boomteelt zijn een aantal ondernemersgroepen gevormd en zijn er bijeenkomsten binnen dit project georganiseerd. In dit project is deelgenomen aan de bijeenkomsten door WUR en boomkwekers. Er zijn datasets getest en er is deelgenomen aan expert sessies om testversies in data verwerking te toetsen, akkerweb versie te testen en een vervolg visie te formuleren. Met de opgedane kennis is verder gewerkt aan de opzet van een data verzamel programma.

Bodempaspoort

In 2017 heeft ZLTO samen met Wageningen Environmental Research een werkende demoversie gelanceerd van het Bodempaspoort. Met het Groen Ontwikkelfonds Brabant (GOB) zijn afspraken gemaakt over de verpachting van de landbouwgronden en het opnemen van het Bodempaspoort in de pachtvoorwaarden. Voor het draagvlak heeft ZLTO direct contact gezocht met LTO-Nederland, en tijdens een themabijeenkomst heeft ZLTO bestuurlijk groen licht gekregen van LTO Nederland om het Bodempaspoort onder de vlag van LTO-Nederland te presenteren. Momenteel zijn er circa 60 Bodempaspoort gebruikers, met ruim 550 percelen die voorzien zijn van een Bodempaspoort.



Figuur 7.2-1 Overzicht van de opzet perceelwijzer.

Projectoutput

Open Dag Proeftuin voor Precisielandbouw van 5 september 2018

In de link het persbericht: <https://docs.google.com/document/d/15-Lg0nE4sxW0ow4R3ms2jTOQ7LLCrQ81wwhm90YeKik/edit>

Smart Industry Fieldlab focus High Tech

Er waren 46 standhouders van sensoren tot tractoren, software en bodemscanners. De reacties waren enorm positief, de standhouders waren verrast door de serieuze interesse in de producten en scherpe vragen van bezoekers.

Thema nummers Nieuwe oogst 2018

<https://www.nieuweogst.nl/epaper/zuid/20180120/#page/7> Kringlooplandbouw moet snel de nieuwe norm worden. 20-01-18

<https://www.nieuweogst.nl/epaper/zuid/20180127/#page/17> Aankoop kappenspuit vaak te laat; 27-01-18

<https://www.nieuweogst.nl/epaper/zuid/20180127/#page/33> In 1 minuut van big data naar taak kaart; 27-01-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180127/#page/42> Innovatiegroepen precisielandbouw; 27-01-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180203/#page/13> Boeren kunnen meer waarde halen uit data; 3-2-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180203/#page/30> IOT oplossingen projecteren op de landbouw; 3-2-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180203/#page/39> 170 deelnemers gezocht voor innovatie groepen. Precisielandbouw; 3-2-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180210/#page/6> datacheck kalverhouderij sector. 10-2-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180224/#page/2> affaire legt zwakke punten i&r systeem bloot; 24-02-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180210/#page/21> nieuwe zelfrijdende spuit; 10-02-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180224/#page/15> Rotomax sleepslang systeem: 24-02-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180224/#browse/19> Bodemmeters bepalen moment uitrijden; 24-02-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180224/#page/26> Praktijk bevestigt voordelen vaste rijpaden; 24-02-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180224/#page/31> Precisielandbouw groeit in breedte en diepte; 24-02-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180303/#browse/2> Invoeren digitale kaart vertraagd; 03-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180303/#page/7> aanpak I&R zaak onbegrijpelijk; 03-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180303/#page/27>; alert blijven met real time bedrijfsdata; 03-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180303/#page/35> precisielandbouw wekt interesse bij boeren; 03-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180303/#page/42> remote sensing als teeltstrategie; 03-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180310/#page/9> Kringloopwijzer is noodzaak; 10-03-18.

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180310/#page/42> scherpe strategie met optiakker; 10-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180310/#page/43> advies over wijziging GLB; 10-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180317/#page/17> case IH helpt met precisielandbouw; 17-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180317/#page/31> telers banen weg precisielandbouw; 17-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180317/#page/42> Lancering OPTIakker bij ZLTO; 17-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180331/#browse/13> innovatiegroepen precisielandbouw gestart; 31-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180331/#page/15> Case IH test autonome technieken; 31-03-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180407/#page/16> precisielandbouw is ook loonwerk; 7-4-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180414/#page/12> precisielandbouw op Zeeuwse akker; 14-07-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180421/#page/41> waarde van data zit in analyse en advies; 21-04-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180428/#page/6> gedragscode regelt eigendom boerendata; 28-04-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180505/#page/23> slachtlindata voor managen gezondheid; 5-5-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180526/#browse/32> bodemscan geeft teler inzicht in oorzaak.; 26-05-18

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180630/#page/40> ZLTO data project succes
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180728/#page/15> precisielandbouw en bodem
speerpunten op ATH.
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180714/#page/19> 61% eiwit van eigen land
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180804/#browse/19> 120 weidedagen moet lukken!
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180901/#page/16> alleen spuitmiddel waar nodig
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180901/#page/26> demo proef variabel poten
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180901/#page/27> we moeten nu echt aan de slag met
precisielandbouw.
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180901/#page/32> netwerk proeven Engerlingen
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180915/#page/34> precisie is bijhouden wat je waar
neemt.
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20180915/#page/42> geo data basis voor kringloop
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20181006/#page/20> stripgrazen i.r.t. roterend beweiden.
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20181020/#browse/13> Sensoren houden waterkwaliteit in
de gaten.
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20181110/#browse/22> geen gouden bullit tegen engelingen
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20181201/#page/30> loofvernietiging effect op kwaliteit
pootgoed.
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20181208/#page/41> werken met een correctie signaal
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20190126/#page/25> dataplatform voor meer grip en
controle

Thema nummers Nieuwe oogst 2017

<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/special/20171007/#page/3> rendabel en efficiënt voeren
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/special/20171111/> agri-visie-thema mechanisatie
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/special/20170902/#page/1> thema agrarische dagen Someren
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/special/20170624/> Agrivisie Smart Farming
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/special/20161217/#page/2> Agrivisie: Kansen in 2017
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170114/#page/20> sturen op fosfor
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170114/#page/32> boomteeltscanners project
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170121/#page/36> aardbei dag 2017
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170121/#page/44> Bodempaspoort laat kwaliteit zien.
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170128/#page/31> precies bemesten
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170211/#page/7> weidegang
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170211/#page/37> opbrengstpotentie
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170304/#page/25> data driven; connectie met andere
projecten
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170318/#page/34> mechanisatie lastig bij mengteelt
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170325/#page/4> glasvezel; snel internet; connectivity
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170401/#page/37> instapmodel voor precisielandbouw
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170401/#page/38> vision brengt oogstrobot dichterbij
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170408/#page/19> mest met water vermindert uitstoot
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170408/#page/44> met optiCom meer sturen op melk
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170415/#page/22> weidesysteem, grasopbrengst
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170429/#page/4> nitraat programma-sensoren
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170617/#page/12> open dag rusthoeve
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170624/#page/43> open dag rusthoeve
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170610/#page/29> snelle analyses precisiebemesting
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170617/#page/12> Bodempaspoort
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170729/#page/7> Glasvezel
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170812/#page/29> Agrifood meets Geo
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170902/#page/29> rendement verbeteren met Geo
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170826/#page/28> Vlog opticow
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20170909/#page/43> Agrarische Dagen Soemeren
<https://www.nieuweoogst.nl/epaper/zuid/20171125/#page/31> Veilige data uitwisseling

Thema nummers Nieuwe oogst 2015

Nieuwe Oogst 060415 precisielandbouw in de melkveehouderij

Nieuwe Oogst 070115 loonbedrijf Thijssen gaat werken met drone

Nieuwe Oogst 09042015 precisielandbouw in de veehouderij

Nieuwe Oogst 120615-grote drone voor gewasbescherming

Nieuwe Oogst 150618 PL20vanStart

Nieuwe Oogst 180615 Op naar precisielandbouw 2.0 van start

Nieuwe Oogst 190315 taakkaart maken van bodemscan lastig

Divers

<https://www.nieuweoogst.nu/epaper/zuid/20170422/#page/39> rijks zwaan

<https://www.nieuweoogst.nu/epaper/zuid/20170527/#page/7> inzicht in zoet water belangrijk

Draaiboek geo-kennismakingstuin

Elies Lemkes-Straver_GeoBuzz_24nov2015

Magazine_Open Dag Magazine 2015

8 Bijdrage PPS PL2.0 aan ontwikkeling precisielandbouw

PPS PL2.0 startte in 2015 als breed publiek-privaat samenwerkingsverband met 11 R&D deelprojecten op 5 precisielandbouw thema's. Tevens was er een deelproject gericht op verspreiding van kennis en ervaringen naar onderwijs, praktijk en stake holders. De beoogde resultaten, zoals in Tabel 8.1 samengevat, zijn behaald. De oogst van PL2.0 is groot. Dit wordt onderschreven in de laatste stuurgroepvergadering van PL2.0 eind 2018. Sommige deelprojecten leverden resultaten die direct doorstroomden naar de praktijk (zie bijv. deelprojecten 1b, 1c en 3a en 3d). Andere deelprojecten leverden nieuwe kennis en inzichten waarmee detectie van ziekten (2b), het schatten van opbrengstpotentie (deelprojecten 3c en 4) beter gedaan kan worden of inzichten waarmee innovatieve spuittechniek ontwikkeld kan worden (deelproject 3b) of strategische perceelsinformatie geleverd kan worden (1b en 5). Meer details over de resultaten per deelproject staan in de hoofdstukken 2 tot en met 6.

Tabel 8.1 Geplande resultaten PL2.0 PPS (uit samenwerkingsovereenkomst).

Thema	Producten
1	Jaarlijkse rapportage over 3 ontwikkellijnen waarin satellietbeelden gebruikt worden bij biomassamonitoring en opbrengstvoorspelling in precisielandbouw, met – indien succesvol – 3 nieuwe diensten voor PL 2.0.
2	Jaarlijkse rapportages over de ontwikkellijn <i>vision technology</i> voor detectie ziekten in aardappelgewassen, met – indien succesvol – een nieuw sensorsysteem voor PL 2.0.
2	Rapportage over de ontwikkellijn bodemsensortechnologie, met – indien succesvol – een verbeterd bodemsensorsysteem voor PL 2.0 en een wetenschappelijke publicatie.
3	Jaarlijkse rapportages over de ontwikkellijnen <i>variable rate technology</i> , met – indien succesvol – oplevering van gevalideerde prototypes.
3	Jaarlijkse rapportages over de R&D aan integratie van sensoren, modellen, kengetallen en data-bases te gebruiken in adviesdiensten voor management van gras, maïs en akkerbouwgewassen.
4	Rapportages over de R&D aan perceelkarakteristieken opbrengstpotentie.
5	Rapportages over de R&D aan strategische perceelplanning, en - indien succesvol – oplevering van een gevalideerd prototype.
3/4/5	Diverse Apps voor toepassing precisielandbouw in akkerbouw en graslandbeheer, mede afgestemd op resultaten uit thema 1.
6	Samenwerking tussen een groot aantal hoofdrolspelers op het gebied van precisielandbouw.
6	Publicaties op precisielandbouwwebsites en presentaties op beurzen.
6	Kennisuitwisseling met HAO/coördinatoren van CoE en CIV.
6	Jaarlijkse rapportages aan TKI A&F en symposia.

PL2.0 ging in 2015 van start met een aantal kennisvragen, zie Tabel 8.2. In die tabel wordt aangegeven in vetgedrukte tekst hoe de vragen beantwoord zijn. De stuurgroep van PL2.0 is van mening dat deze vragen goed beantwoord zijn. De resultaten zijn gepubliceerd in diverse tijdschriften (zie hoofdstuk 7).

Tabel 8.2 Kennisvragen in PL2.0 PPS (uit samenwerkingsovereenkomst). In bold hoe de vragen binnen PL2.0 beantwoord zijn.

Thema	Kennisvraag
1	<p>Op welke wijze kunnen optische en radar satellietbeelden slimmer gebruikt worden, al of niet in combinatie met <i>nearby</i> sensoren, om gewasmonitoring, opbrengstvoorspelling en sturing van plaats-specifieke teeltmaatregelen te verbeteren?</p> <p>Zie hoofdstuk 2. Bewolking is nog steeds een rem op gebruik optische sensorbeelden van satellieten. De onderzoeken laten zien dat door slimme combinaties met drone beelden of radarbeelden de leverzekerheid en kwaliteit van kaarten vergroot kan worden en dat de resultaten bruikbaar zijn bij opbrengstschattingen op regionaal niveau.</p>
2	<p>Welke <i>vision technology</i> is nodig om met camera's en andere sensoren zieke planten in gewassen te kunnen detecteren? De focus ligt op ziekten in aardappelen?</p> <p>Zie hoofdstuk 3. Het deelproject leverde een prototype voor veldonderzoek. In het prototype zijn meerdere sensorsystemen samengebracht, en kon in combinatie met artificial intelligence algoritmen zieke aardappelplanten met vrij hoge nauwkeurigheid gedetecteerd worden.</p>
3	<p>Welke componenten zijn nodig, beschikbaar of behoeven onderzoek, om te komen tot <i>variable rate technology</i> voor bodempesticiden, contactmiddelen en voedingsstoffen? En hoe goed presteren prototypes van deze technologie? Hoe kan weerinformatie beter gebruikt worden bij de aansturing van toedieningstechnologie? Welke sensoren, modellen, kengetallen en data-bases zijn beschikbaar of moeten ontwikkeld worden om te komen tot een online advies voor bemesting en andere teeltmaatregelen in grasland, maïs en enkele akkerbouwgewassen?</p> <p>Zie deelprojecten in hoofdstuk 4. Voor succesvolle VRA applicaties zijn 1 of meerdere kaarten nodig die variatie in bodem of gewas digitaal te gebruiken maakt, beslisregels voor vertaling van data in actie, en machines die die actie plaatspecifieke en variabel kunnen uitvoeren.</p>
4	<p>Met welke perceelkarakteristieken kan de opbrengstpotentie van een perceel/gewas het beste in kaart gebracht worden? En hoe kunnen die karakteristieken het best bepaald worden en in beeld worden gebracht? Welke analysetools zijn hiervoor nodig?</p> <p>Zie hoofdstuk 5. Een concept voor schatten van opbrengstpotentie op basis van een brede data set is opgeleverd. Tevens is inzicht in zonering binnen percelen vergroot. Belangrijke factoren zijn hoogte, organische stof-% en klei-% in het perceel.</p>
5	<p>Kunnen de verwachte EU CAP-regels vertaalde worden in software waarmee telers strategische perceelplanning kunnen doen? En hoe is dit door te vertalen naar praktische adviezen?</p> <p>Zie o.a. hoofdstuk 6. Met de tools die in dit hoofdstuk beschreven worden kunnen strategische doelen en CAP-regels beter ingepland worden.</p>

Het grote succes van PL2.0 ligt vooral bij ruime aandacht voor integratie van componenten van precisielandbouwtoepassingen en de doorstroming daarvan naar de praktijk en onderwijs. Geconcludeerd mag worden dat PL2.0 een bijdrage leverde aan gewasmonitoringtoepassingen en diverse variabel doseer toepassingen (*variable rate applications*, VRA). Die VRA-toepassingen zien we nu op de agenda in het in 2018 gestarte precisielandbouw-adoptie project Nationale Proeftuin Precisielandbouw (NPPL). Meerdere bedrijven passen de toepassingen nu op praktijkschaal toe en besparen zo'n 20-30% op gewasbeschermingsmiddelen met behoud van goede werking en op een resolutie van 30-50 m². Ook zijn er mooie resultaten met optimalisatie van plantdichtheid en vermindering van meststoffengebruik. Doorstroming van kennis naar het groene onderwijs werd versterkt door een WURKS traject.

PL2.0 wordt naar tevredenheid afgesloten. Precisielandbouw is geen doel op zich, maar een manier om de duurzaamheid van landbouw te vergroten. Met PL2.0 toepassingen kan meer met minder en beter geproduceerd worden. De trend van precisielandbouw c.q. data-gedreven landbouw of smart farming, zal zich alleen maar doorzetten. Er zal gewerkt gaan worden met meer en hoog-resolutie data, complexere adviesmodellen en meer robotisering. Daarmee zullen de doelen van kringlooplandbouw beter en sneller gerealiseerd kunnen worden. Wat dat betreft heeft PL2.0 bijgedragen aan het realiseren van de landbouw van de toekomst.



Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-921

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



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



Correspondentie adres voor dit rapport:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-921

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

