



# Sensorgestuurde advisering van Stikstof bijbemesting in aardappel

Implementatie en integratie

Auteur(s): David A. van der Schans, Frits K. van Evert<sup>1</sup>, Jan Ties Malda<sup>2</sup> en Viktoria Dorka-Vona<sup>2</sup>



# Sensorgestuurde advisering van Stikstof bijbemesting in aardappel

Implementatie en integratie

Auteur(s): David A. van der Schans, Frits K. van Evert<sup>1</sup>, Jan Ties Malda<sup>2</sup> en Viktoria Dorka-Vona<sup>2</sup>

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR  
Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten  
September 2012

PPO nr. 3250219800

<sup>1</sup> Business Unit Agrosysteemkunde, Plant Research International, Droevendaalsesteeg 1, 6700 AP Wageningen

<sup>2</sup> ALTIC, Dronten

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. 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 DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

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

PPO Publicatienr. 520.



Projectnummer: 3250219800

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR  
Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

Adres : Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
: Edelhertweg 1, Lelystad  
Tel. : +31 320 29 11 11  
Fax : +31 320 23 04 79  
E-mail : [infoagv.ppo@wur.nl](mailto:infoagv.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

## Inhoud

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| SAMENVATTING.....                                                              | 5  |
| 1 STREEFWAARDEN STIKSTOF INHOUD .....                                          | 7  |
| 2 IJKLIJN SENSOREN VOOR KLEIGROND .....                                        | 11 |
| 2.1 Materiaal en methoden .....                                                | 11 |
| 2.2 Resultaat.....                                                             | 11 |
| 2.3 Discussie .....                                                            | 12 |
| 2.4 Conclusie .....                                                            | 16 |
| 2.5 Literatuur .....                                                           | 16 |
| 3 KALIBRATIE GEWASREFLECTIE SENSOREN.....                                      | 17 |
| 3.1 Aanleiding .....                                                           | 17 |
| 3.2 Achtergrond .....                                                          | 17 |
| 3.3 Materiaal en Methode.....                                                  | 18 |
| 3.4 Resultaten .....                                                           | 19 |
| 3.4.1 Testprotocol versie 1 .....                                              | 19 |
| 3.4.2 Commentaren en input van deskundige n.a.v. testprotocol concept .....    | 20 |
| 3.4.3 Test protocol sensoren .....                                             | 23 |
| 3.4.4 Resultaten sensor vergelijking en test.....                              | 25 |
| 3.5 Conclusie en aanbeveling .....                                             | 28 |
| 3.6 Referenties.....                                                           | 28 |
| 4 MONITORING PRAKTIJK IMPLEMENTATIE .....                                      | 29 |
| 4.1 Vierhuizen .....                                                           | 29 |
| 4.1.1 Materiaal en methoden .....                                              | 29 |
| 4.1.2 Resultaat.....                                                           | 29 |
| 4.1.3 Conclusie .....                                                          | 31 |
| 4.2 Valthermond.....                                                           | 31 |
| 4.2.1 Materiaal en methoden .....                                              | 31 |
| 4.2.2 Resultaat.....                                                           | 32 |
| 4.2.3 Conclusie .....                                                          | 33 |
| 4.3 Lelystad Sensispray proef .....                                            | 33 |
| 4.3.1 Materiaal en methoden .....                                              | 34 |
| 4.3.2 Resultaat.....                                                           | 34 |
| 4.3.3 Conclusie .....                                                          | 35 |
| 4.4 Biddinghuizen .....                                                        | 36 |
| 4.4.1 Materiaal en methoden .....                                              | 36 |
| 4.4.2 Resultaat.....                                                           | 36 |
| 4.4.3 Conclusie .....                                                          | 37 |
| 4.5 Reusel .....                                                               | 37 |
| 4.5.1 Materiaal en methoden .....                                              | 37 |
| 4.5.2 Resultaat.....                                                           | 39 |
| 4.5.3 Conclusie .....                                                          | 42 |
| 4.6 Discussie naar aanleiding van de in dit hoofdstuk beschreven proeven ..... | 42 |
| 4.7 Literatuur .....                                                           | 42 |
| 5 N-BIJMESTADVIES OOK MET REMOTE SENSING BEELDEN .....                         | 45 |
| 5.1 Aanleiding .....                                                           | 45 |

|       |                                                                |    |
|-------|----------------------------------------------------------------|----|
| 5.2   | Materiaal en methode.....                                      | 45 |
| 5.2.1 | Data van Mijnakker .....                                       | 46 |
| 5.2.2 | Data van destructieve gewasanalyses.....                       | 46 |
| 5.2.3 | Data CropScan .....                                            | 46 |
| 5.2.4 | Dataverwerking.....                                            | 47 |
| 5.3   | Resultaten.....                                                | 47 |
| 5.3.1 | Praktijkperceel Biddinghuizen (Zondag) .....                   | 47 |
| 5.3.2 | Praktijkperceel PPO Lelystad .....                             | 49 |
| 5.3.3 | Praktijkperceel PPO Valthermond .....                          | 50 |
| 5.3.4 | Vergelijking alle beschikbare data.....                        | 52 |
| 5.4   | Discussie en aanbevelingen .....                               | 52 |
| 6     | LESMATERIAAL SENSOR GESTUURDE STIKSTOF BIJBEMESTING .....      | 55 |
| 6.1   | Achtergrond toepassing sensoren.....                           | 55 |
| 6.2   | Situatie beschrijving .....                                    | 57 |
| 6.3   | Data verwerking CropCircle data.....                           | 58 |
| 6.3.1 | CSV-bestand als laag toevoegen .....                           | 59 |
| 6.3.2 | Opslaan als Vectorlaag (shp. Bestand) .....                    | 60 |
| 6.3.3 | Grid Interpolatie .....                                        | 61 |
| 6.3.4 | Voeg een nieuwe shape laag toe en maak een taakkaart.....      | 64 |
| 7     | CONCLUSIES.....                                                | 73 |
|       | BIJLAGE 1. KALIBRATIE EXPERIMENT CLOSE RANGE SENSOREN.....     | 75 |
|       | BIJLAGE 2. VERSLAG BESPREKING 28 MARCH 2012, PPO LELYSTAD..... | 77 |

# Samenvatting

April 2011 dienden Mijno van Dijk, Agrifirm, Blgg agroxpertus, Wiski, CZAV, ZLTO, van den Borne aardappelen, Precisie landbouw Oost Drenthe, Agritip, Groene kenniscoöperatie bij PPL een ontwikkelverzoek in met als doel onderzoek te doen naar de implementatie van sensorgestuurde N-bijmestsystemen in de praktijk (062). In 2010 was op basis van oude onderzoeksgegevens van PRI onderzoeker R. Booij, aangevuld met nieuwe data N bijmeststelsysteem in aardappel op basis van sensing tot stand gekomen (PPL 017 adviesregel). Dit systeem Booij was ontwikkeld op basis van sensing data gemeten met de CropScan sensor. Deze sensor is niet geschikt voor toepassing door boeren of montage op machines.

Nu er een adviesregel is op basis van sensing, moet deze ook kunnen worden toegepast met in de praktijk gangbare sensoren. De algoritmen van het systeem gebaseerd op het onderzoek van Booij maken een inschatting van de N-opname door het gewas op basis van gewasreflectie metingen. Uit de reflectiemeting wordt een vegetatie-index (WDVI) berekend. Uit het onderzoek PPL017 is de relatie van de WDVI met totale N-opname door het gewas vastgesteld. Deze "meetwaarde" voor N-opname wordt vergeleken met een streefwaarde in de perioden dat 90% bodembedekking is bereikt tot enkele weken daarna het aardappelloof verwaaid en in elkaar zakt. In dit adviesstelsysteem wordt aangenomen dat de streefwaarde een constante waarde heeft. Voor consumptie aardappel is dit een opname van 200 kg stikstof per hectare en voor fabrieksaardappel een waarde van 175 kg stikstof per hectare. Voor de teelt van pootgoed zijn geen streefwaarden afgeleid.

Rond de implementatie van de rekenregel zijn in de rapportage van PPL 017 een aantal vragen geformuleerd. Deze vragen moeten t.b.v. de betrouwbaarheid en voor het breed toepasbaar zijn van het adviesstelsysteem worden opgehelderd.

In de praktijk bestaat de behoefte om bij begin knolzetting al met stikstof bijbemesting te beginnen. Dit is soms al voordat 90% bodembedekking wordt bereikt. Er is dus behoefte aan een streefopname curve aan het begin van het groeiseizoen om afwijking van deze curve in een vroeg stadium te ontdekken door monitoring m.b.v. een sensor. De N-opname is afhankelijk van de groeiomstandigheden. In hoofdstuk 1 wordt daarom beschreven hoe het ideale N-opnameverloop als functie van de temperatuursom kan worden gebruikt om al voordat 90% bodembedekking wordt bereikt. Een N bijmestadvies te kunnen geven. Dit zou een uitbreiding betekenen van de mogelijkheden van het op sensing gebaseerde N-advies volgens Booij. In hoofdstuk 1 komt naar voren dat implementatie van deze temperatuursom afhankelijke streefwaarde nog niet meteen praktijkrijp is. In een project waarvoor veldonderzoek wordt uitgevoerd in 2012 en 2013 in opdracht van Masterplan Mineralen Management wordt voortgebouwd op zowel Tsom afhankelijke opname als een advies dat rekening houdt met de opbrengstpotentie van het perceel of de plek op het perceel.

Het onderzoek dat is uitgevoerd voor het ontwikkelen van adviesregel (PPL017) was voor het grootste deel gebaseerd op proeven met het ras Bintje op zandgronden. In dit onderzoek zijn aanvullende waarnemingen gedaan op N-trappenproeven op kleigrond om te onderzoeken of de verschillen in loofontwikkeling op zand- en kleigrond niet tot een wezenlijk andere inschatting van de N-opname leiden. Op zandgrond wordt met name bij de beginontwikkeling van het gewas meer loof gevormd. Dit zou de reflectie waarden en daarmee de vegetatie index kunnen beïnvloeden. Dit kan tot een fout bij het inschatten van de N—opname leiden. In hoofdstuk 2 zijn de data van de proeven onder de loep genomen. Dit leidt tot de conclusie dat verschillen in groeiverloop tussen zand- en kleigrond niet tot een andere relatie van WDVI en N-opname leiden. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de vraag of de vegetatie indices berekend uit meetwaarden van verschillende sensoren zodanig kunnen worden gecorrigeerd dat de sensoren bruikbaar zijn voor het systeem Booij. Praktijksensoren wijken af van de CropScan sensor die de basis vormt voor de adviesregel gebaseerd op Booij. Deze sensoren meten reflectie in elektromagnetische banden die afwijken van de banden waaruit de vegetatie index WDVI volgens Booij wordt berekend. Dit leidt tot andere waarden. De meetwaarden van sensoren veranderen in de tijd doordat filters verlopen. Om dit te corrigeren is periodieke kalibratie noodzakelijk. Een testprotocol is ontwikkeld om vast te stellen of herkalibratie van sensoren nodig is. Bij de deskstudie en gesprekken met deskundigen kwam ook naar voren dat de metingen worden beïnvloed door onder andere de stand van de zon en de hoogte van de sensor ten opzichte van het bladerdek met name bij actieve licht sensoren. In de loop van het onderzoek bleek dat er onvoldoende bekend is over de invloed van deze omstandigheden om correctie factoren vast te stellen voor het

corrigeren van de vegetatie indices van verschillende sensoren naar de CropScan sensor. De indruk bestaat dat relatieve verschillen binnen een perceel wel door de praktijksensoren worden gemeten, maar de omrekening van een vegetatie index naar de door het gewas opgenomen stikstofhoeveelheid bleek onmogelijk. Dit betekent dat als de sensor correct is gekalibreerd er per sensor een specifieke ijklijn nodig is of dat ondersteunende metingen moeten worden gedaan om het niveau van het advies vast te stellen. In hoofdstuk 4 is beschreven of het advies volgens systeem Booij in de praktijk heeft gewerkt. Op vijf locaties: Vierhuizen, Valthermond, Lelystad, Biddinghuizen en Reusel is het gewas gemonitord met de CropScan sensor, het systeem van Altic voor aardappelmonitoring en is aan de hand van bodemonmonsters de N-min voorraad in de bodem vastgesteld. Het systeem Booij heeft op twee van de vijf locaties (Valthermond en Vierhuizen) geleid tot een gift die lager is dan de gift volgens de bemestingsrichtlijnen zonder dat dit leidde tot opbrengstderving. Op één perceel (Biddinghuizen) kon door een besmetting met nematoden geen uitspraak worden gedaan. Op het perceel in Lelystad was het advies op basis van de sensor iets lager dan de richtlijn maar was de opbrengst ook iets lager. Op het perceel in Reusel adviseerde het systeem op basis van sensing een zeer hoge gift (100 kg N per hectare) waardoor de totaalgift hoger werd dan de richtlijn. Deze gift is niet gegeven omdat het protocol dit niet toestaat maar was achteraf wel in overeenstemming met de zeer hoge productie van dat gewas. Deze praktijktest van het systeem op vijf percelen wees uit dat de adviezen op basis van CropScan metingen tot een betrouwbaar advies leiden.

In hoofdstuk vijf zijn de beschikbare satellietdata van mijnakker geanalyseerd op hun bruikbaarheid om tot een bemestingsadvies te komen. Voor de periode waarin de percelen worden bijbemest waren voor elk perceel 1 beeld beschikbaar. Dit was een opname van 7 juli voor de locaties Vierhuizen en Valthermond en 12 juli voor de locaties in de Flevopolder, Biddinghuizen en Lelystad. De vergelijking van de satelliet data met de analyse van resultaten de berekende N-opname uit drogestofanalyses van de bovengronds biomassa vertonen geen goed verband. Het aantal opnamen vanuit de satelliet per perceel is te klein om een uitspraak te doen. Ook als alle data van de satelliet opnamen en veldwaarnemingen samen worden genomen is er geen verband te destilleren op basis waarvan een advies met de mijnakkerdata realistisch lijkt. De uit de satelliet berekende hoeveelheid stikstof in het blad zijn veel lager dan de hoeveelheden die op de velden zijn gemeten. Voor het ontwikkelen van een adviesstelsel op basis van satellietdata is het nodig deze te vertalen naar reële N-opname door het gewas.

In hoofdstuk 5 is ten behoeve van het agrarisch onderwijs een Casus beschreven hoe met een opname met praktijksensoren een taakkaart voor stikstofbemesting kan worden gemaakt. Gedurende het onderzoek naar de implementatie van sensorgestuurde N bijmestsystemen in de praktijk bleek dat het toepassen van systeem Booij bij het gebruik van andere sensoren dan de CropScan nog een brug te ver is. Bij het uitwerken van de casus is daarom de keuze gemaakt de opnamen met CropCircle sensoren te relateren aan de resultaten van aardappelmonitoring. Hierbij was het uitgangspunt dat de CropCircle sensoren de ruimtelijke variatie van N-opname door het gewas goed in kaart brengen. Ten behoeve van het implementatieonderzoek waren ook N-vensters met over en onder bemesting aangelegd. Op zowel de vensters als de praktijkstroken werd een advies op basis van aardappelmonitoring door Altic gegeven. De coördinaten van de vensters en het bijbehorende advies waren bekend. Door de uit de CropCircle opname afgeleide WDWI te combineren met de N bijmestadviezen wordt beschreven hoe een N toepassingskaart kan worden afgeleid met gratis GIS software.

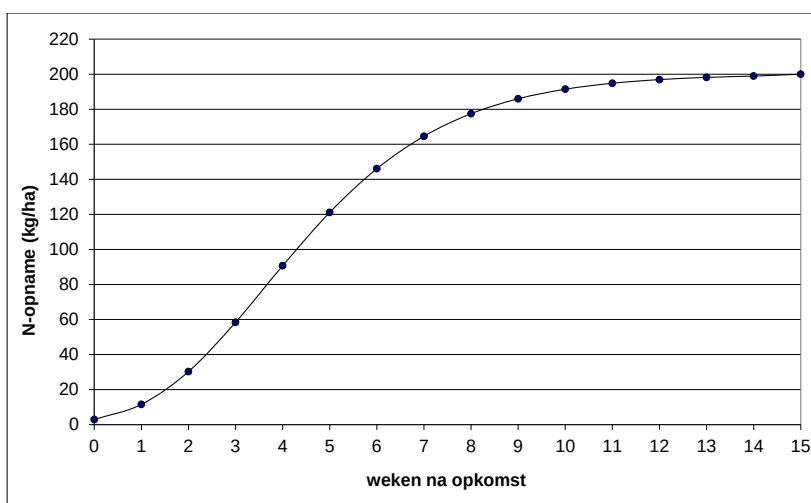
Uit dit onderzoek naar de implementatie van sensorgestuurde N bijmestsystemen op praktijkschaal bleek dat de ontwikkelde rekenregel in de praktijk meestal tot betrouwbare adviezen leidde. De knelpunten voor implementatie liggen met name op het gebied van de sensoren die de basis moeten leveren voor het adviesstelsel. De randvoorwaarden voor het gebruik van de sensoren zijn niet duidelijk. Sensoren CropCircle en Greenseeker worden vaak op de bomen van spuitmachines gemonteerd. De spuihoogte is voorgeschreven op 50 cm boven het gewas. De hoogte van de bomen varieert bij normaal gebruik tenminste tussen 30 en 70 cm boven het gewas. Uit onderzoek naar de invloed van sensor hoogte op de meetwaarden komt naar voren dat de invloed van meethoogte bij minder dan 70 cm zeer groot is. Dit is een belangrijke foutenbron.

Het is belangrijk dat de leveranciers van sensoren nadrukkelijk informatie leveren over de invloed van hoogte van de montage van de sensor op de meetwaarden en de daaruit berekende vegetatie indexen. De WDWI berekend uit de CropScan geeft een goede indicatie voor de N-opname door het gewas. De resultaten van WDWI-berekeningen uit meetwaarden van andere sensoren geven geen consistente relatie met de CropScan WDWI. Het is niet duidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt.

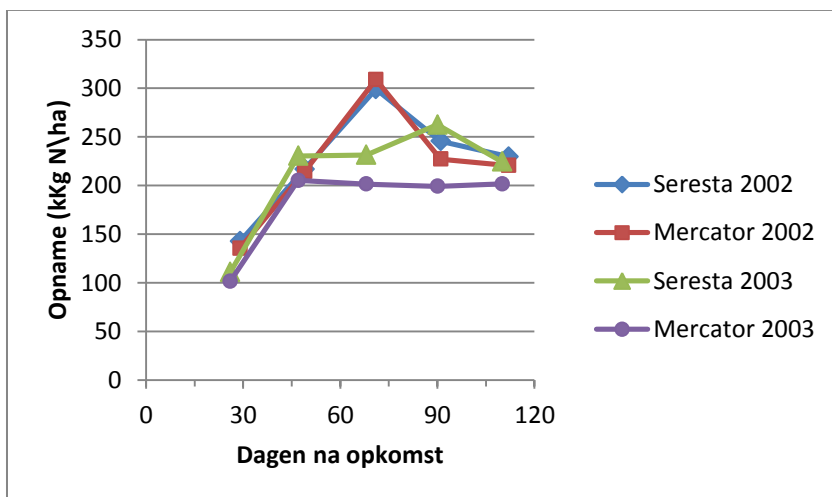
# 1 Streefwaarden Stikstof inhoud

In Figuur 1. is een gemiddelde stikstofopnamepatroon voor aardappel weergegeven bij een knolproductie van 50 ton per ha voor consumptieaardappel en 45 ton per ha voor zetmeelaardappel. Vanaf twee weken na opkomst (eind mei/ begin juni) neemt de opnamesnelheid sterk toe. In die periode haalt aardappel onder gunstige groeiomstandigheden een opnamesnelheid van 5 kg N per ha per dag. In juli begint de opnamesnelheid te dalen en na begin augustus wordt vrijwel geen stikstof meer opgenomen (na half augustus voor zetmeelaardappel).

De opnamecurve geldt voor een gemiddeld groeiseizoen in Nederland. Het groei- en N-opnamepatroon van aardappel wordt beïnvloed door het moment van poten en opkomst, de weersomstandigheden, de vochtvoorziening en de stikstofvoorziening. Dit leidt tot variatie in het N-opnamepatroon (Figuur 2 en Figuur 3). Bij groeizaam weer en voldoende vocht groeit het gewas sneller en is de N-opnamesnelheid hoger dan bij minder groeizaam weer of droogte.



Figuur 1. Gemiddelde stikstofopnamepatroon van aardappel bij een knolproductie van 50 ton per ha voor consumptieaardappel en 45 ton per ha voor zetmeelaardappel (naar Van Dijk & Van Geel, 2010).



Figuur 2. Gemeten N-opnamecurven van zetmeelaardappel op een zandgrond in Drenthe in 2002 en 2003 bij twee rassen (naar Van Geel et al., 2004).

De invloed van de weersomstandigheden kan deels worden ondervangen door het N-opnameverloop uit te zetten tegen de temperatuursom (T-som). Steltenpool en Van Erp (1995) stelden hiertoe een relatie vast (figuur 9). Zij vonden dat het stikstofopnamepatroon in de periode vanaf poten tot 15 augustus kan worden beschreven met de formule:

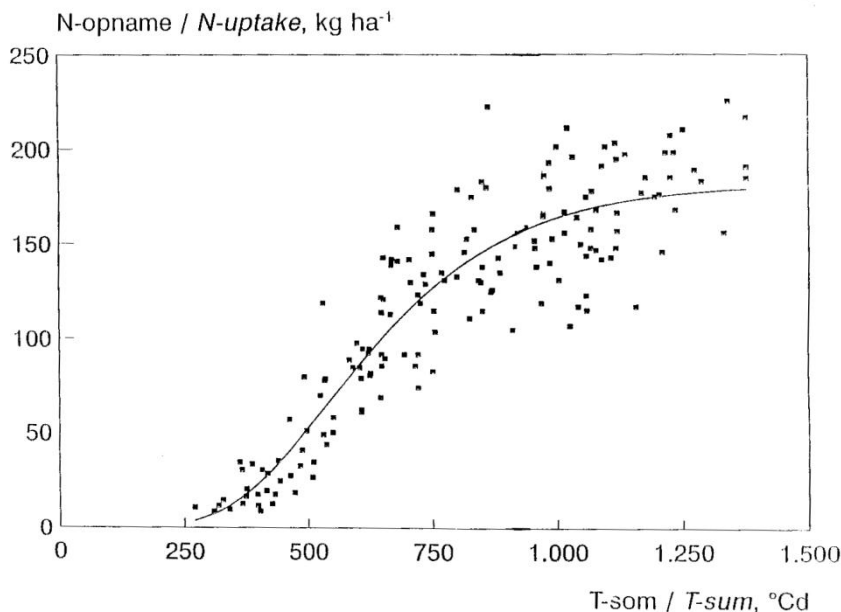


$$\text{Actuele N-opname} = N_{\text{max}} * \text{EXP} ( - \text{EXP} ( - 0,00494 * ( T\text{-som} - 544 ) ) )$$

waarbij:  $N_{\text{max}} = 1,188 * \text{totale N-opname in de knollen bij oogst}$  (Neeteson et al., 1997)

$N_{\text{max}}$  is de totale stikstofopname door het gewas als het opnamemaximum is bereikt.  $N_{\text{max}}$  moet vooraf worden geschat op basis van de opbrengst die kan worden verwacht.

Voor de berekening van de T-som is een basistemperatuur van 2°C genomen. De T-som wordt berekend uit de gemiddelde etmaaltemperatuur  $((T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2 - 2^\circ\text{C})$ .

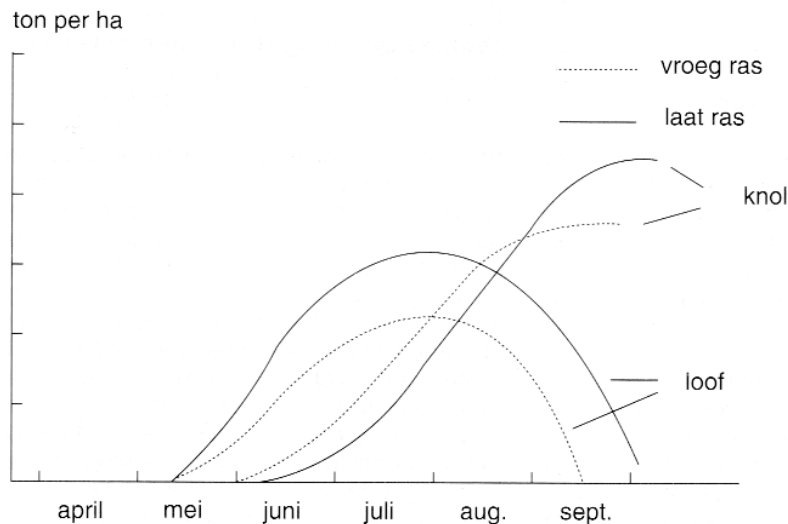


Figuur 3. **Vastgestelde relatie tussen het N-opnamepatroon van aardappel en de temperatuursom ( $R^2 = 0,83$ ; overgenomen uit Steltenpool & Van Erp, 1995).**

Uit deze studie blijkt dat het hanteren van een ideale opnamecurve uitgezet tegen de temperatuursom geen verbetering geeft ten opzichte van de opname curve in dagen na poten. Waarschijnlijk spelen andere factoren een rol. Er zijn bijvoorbeeld grote verschillen tussen rassen op het gebied van vroegrijpheid. Tussen de diverse aardappelrassen bestaan er verschillen in moment van knolaanleg door verschil in daglengtegevoeligheid.

Vroegrijpheid is echter niet het enige criterium dat de stikstofbehoefte van een ras bepaalt. Ook andere ras specifieke eigenschappen kunnen daarop van invloed zijn, waardoor de stikstofbehoefte soms hoger of lager kan zijn dan op basis van de vroegrijpheidscorrectie. Verder geeft de correctie op basis van vroegrijpheid alleen een korting aan ten opzichte van de standaard richtlijn, terwijl er ook rassen zijn met een grotere N-behoefte, die meer nodig hebben. De Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2009) heeft voor het differentiëren van de stikstofgebruiksnorm bij consumptieaardappel naar ras de stikstofbehoefte per ras geïnventariseerd op basis van vroegrijpheid en praktijkervaringen. Vervolgens zijn de aardappelrassen voor de stikstofgebruiksnorm (kg N per ha) ingedeeld in groepen. Het is waarschijnlijk dat het Tsom afhankelijk N-opnameverloop verschilt (Figuur 4).

Ook kan het optreden van droogte grote gevolgen hebben voor de N-opname. Uit de data van dit project kan niet worden afgeleid of het hanteren van een temperatuurafhankelijk opnamecurve tot een wezenlijk beter advies leidt. In het kader van het onderzoeksprogramma Masterplan Mineralen Management (2012-2014) worden in 2012 en 2013 proeven aangelegd waarbij één van de doelstellingen is om stikstof monitoring met sensoren af te zetten tegen verschillende referentie N-opname curven waaronder een Tsom afhankelijke curve. Op basis van dit veldonderzoek kan een uitspraak worden gedaan of op basis van Tsom de ideale gewasopname beter kan worden vastgesteld.



Figuur 4. **Het groeipatroon van een vroeg- en een laatrijpend ras (naar Beukema & Van der Zaag, 1990).**

Bij het toepassen van gewasreflectiemeting om een schatting te maken van de stikstof inhoud van het gewas is een vroeg stadium van gewasontwikkeling is een nauwkeurige inschatting van de streefwaarde voor N-inhoud op het moment van sensing essentieel. Vlak na het sluiten van het loof bereikt het gewas haar maximale N-opname en blijft de N hoeveelheid in het gewas een periode vrij constant. In deze periode kan een achterblijvende N-inhoud makkelijk worden gedetecteerd. Op een eerder tijdstip, in de periode van exponentiële toename van N-inhoud, blijft het vaststellen van de streefwaarde op het moment van sensing te onzeker. Alleen een methode waarbij gewasmonsters worden genomen en N-gehalte wordt bepaald geeft dan uitsluitsel over (dreigend) N gebrek.

Een gevolg hiervan is dat de basis N- bemesting in een systeem met N bijbemesting op basis van gewassensing niet te laag mag zijn om het risico van N-gebrek in een vroeg gewasstadium te vermijden. Een literatuuroverzicht over N-bijmestsystemen (van Geel et al. 2012) laat zien dat N gebrek in een vroeg stadium van de groei een productie verlies geeft dat het hele seizoen doorwerkt.



## 2 Ijklijn sensoren voor Kleigrond

Voor de vertaling van sensormetingen naar stikstofopname in het gewas is in het verleden een ijklijn gemaakt. Deze ijklijn is gebaseerd op gegevens van proeven met Bintje op zandgrond in Wageningen (Van Evert et al., 2011, Hoofdstuk 2; Van Evert et al., 2012b). Er was echter een beperkt aantal data van experimenten op kleigrond beschikbaar. Hierdoor waren er twijfels of de oorspronkelijke ijklijn ook voor aardappels op kleigrond voldoet. In dit werkpakket wordt onderzocht in welke mate de oorspronkelijke ijklijn gebruikt kan worden om de N-inhoud van een aardappelgewas op klei te bepalen.

### 2.1 Materiaal en methoden

Er wordt gebruik gemaakt van twee proeven die in 2011 uitgevoerd zijn. De proef op De Rusthoeve is beschreven door (Schans et al., 2012). In deze proef zijn gewasreflectie-metingen met CropScan gepland op 23 juni en op 8 juli 2011. Aansluitend op de reflectiemetingen zijn destructieve metingen van de N-inhoud van bovengrondse delen gepland.

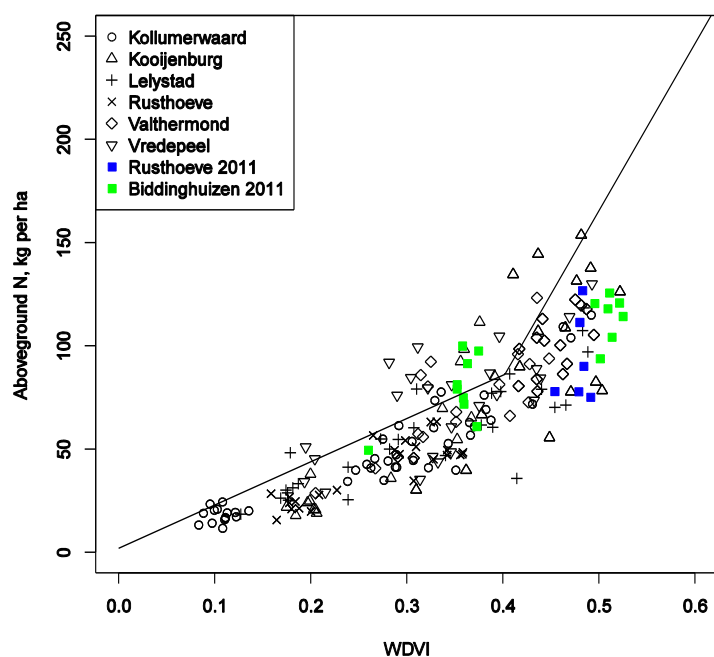
De proef in Biddinghuizen is beschreven door (Vona and Malda, 2012). Gewasreflectiemetingen met CropScan zijn gepland op 22 juni en 7 juli, met aansluitend destructieve metingen van de N-inhoud van bovengrondse delen.

### 2.2 Resultaat

In het experiment op De Rusthoeve is de gewasreflectie-meting op 21 juni mislukt. Daarom kunnen alleen de metingen van 7 juli vergeleken worden met de huidige ijklijn. De zes punten die op De Rusthoeve gemeten vallen binnen de spreiding die bestaat voor de metingen die in 2010 zijn gedaan (Figuur 5). De gebroken lijn in deze figuur geeft het door Booij gevonden verband tussen WDVl en totale N-inhoud van het gewas weer (van Evert 2011). Deze lijn is dus niet afgeleid uit de waarnemingen uit 2010 en 2011 die in de figuur zijn gepresenteerd.

Het valt op dat de zes punten een vergelijkbare WDVl hebben terwijl de bovengrondse N-inhoud varieert van 75 tot 125 kg N ha<sup>-1</sup>.

In het experiment in Biddinghuizen zijn metingen van twee dagen beschikbaar. De metingen van 22 juni liggen dicht bij de huidige ijklijn. Opvallend is dat de WDVl van de nul-behandeling sterk afwijkt van de WDVl van de overige behandelingen, maar dat de verschillen in N-opname in de overige behandelingen niet goed tot uitdrukking komt in de WDVl. De metingen van 7 juli liggen iets onder de huidige ijklijn. De verschillen tussen behandelingen zijn klein, zowel wat betreft N-opname als WDVl.



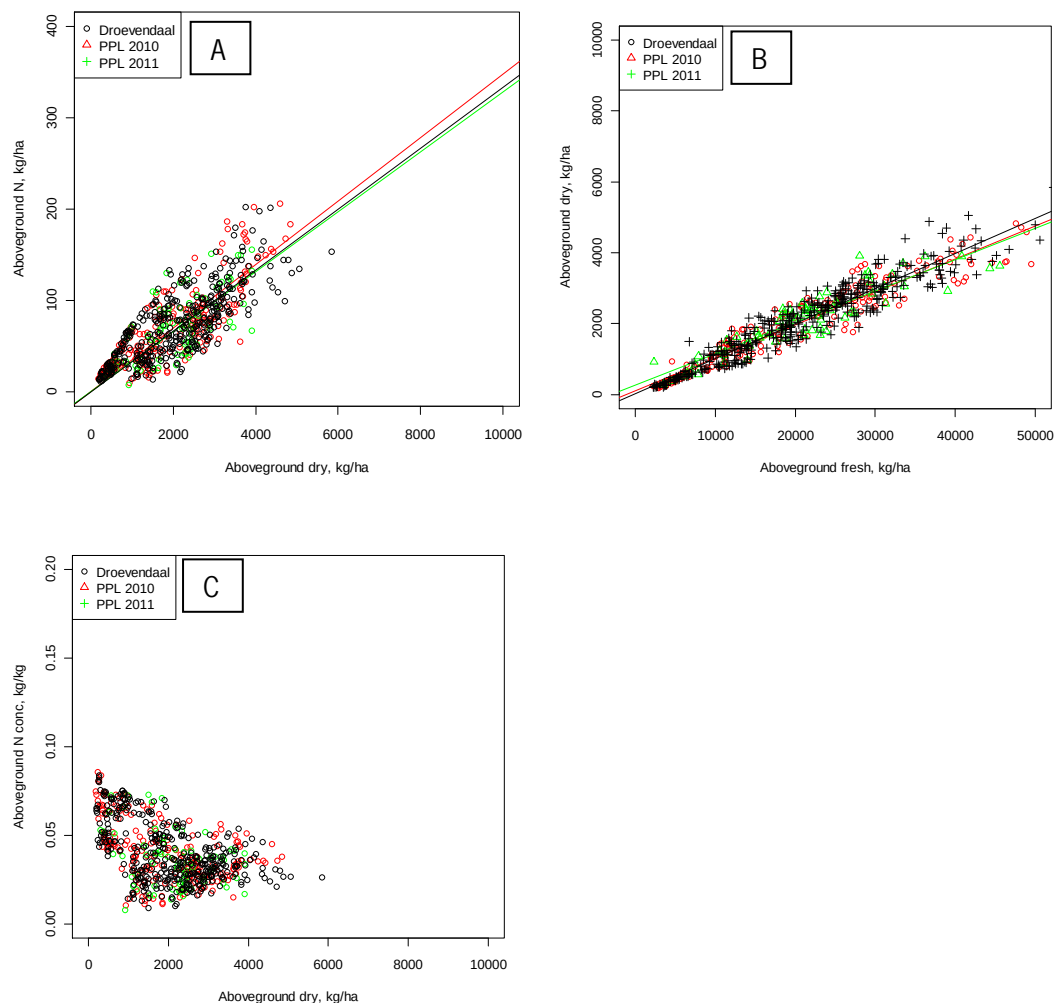
Figuur 5. **Het verband tussen WDWI en bovengrondse N-inhoud voor zes in 2010 uitgevoerde proeven en twee in 2011 uitgevoerde proeven in Biddinghuizen en Rusthoeve. De gebroken lijn geeft het door Boij gevonden verband tussen WDWI en totale N-inhoud weer.**

## 2.3 Discussie

De vegetatie index WDWI (Clevers, 1989) is gebaseerd op het feit dat de fractie van de invallende straling die gereflecteerd wordt, sterk verschilt tussen groen blad en bodem (Tabel 1).

Tabel 1. **Indicatieve waarden voor reflectie van zichtbaar en infrarood licht door groen blad en door droge bodem. Gebaseerd op (Monteith and Unsworth, 1990) en (Clevers, 1989).**

|            | Groen<br>(~560 nm) | Rood<br>(~660 nm) | Infrarood<br>(~810 nm) |
|------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| Groen blad | 0.10               | 0.10              | 0.50                   |
| Bodem      | 0.20               | 0.22              | 0.24                   |



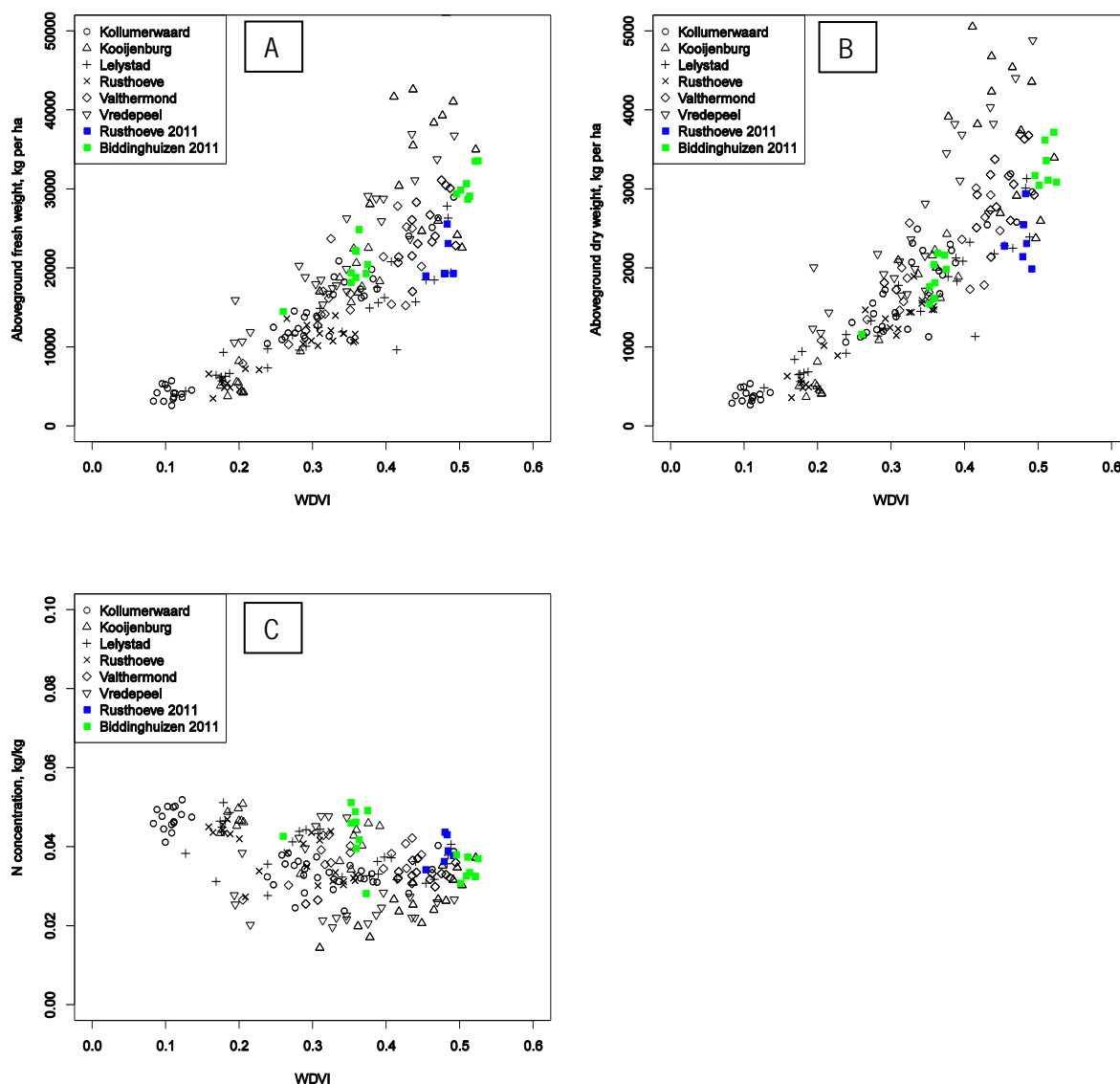
Figuur 6. **Het verband tussen bovengrondse verse biomassa, bovengrondse droge stof, en N concentratie in de bovengrondse droge stof.**

De WDV is dan ook in eerste instantie een maat voor de hoeveelheid blad en daarmee voor de bovengrondse biomassa. Omdat het percentage droge stof in de bovengrondse biomassa van aardappelen binnen nauwe banden varieert (Vos, 2009) (zie ook Figuur 6a), is de WDV ook een maat voor de hoeveelheid bovengrondse droge stof.

Tenslotte varieert de concentratie N in de droge stof ( $\text{g N kg}^{-1}$  droge stof) niet heel sterk (Figuur 6c), waardoor de WDV ook gebruikt kan worden als schatter voor de bovengrondse N opname.

Eén en ander is goed te zien in Figuur 7a-c. Er is een sterk verband tussen WDV en bovengrondse droge stof (Figuur 7a). Het verband tussen WDV en bovengrondse verse massa is minder sterk (Figuur 7b). De variatie in N concentratie (Figuur 6c en Figuur 7c) is voor een groot deel oorzaak van de soms flinke spreiding in het verband tussen WDV en bovengrondse N in Figuur 5.

Zoals te verwachten is er spreiding in de data, maar er lijkt geen aanleiding te bestaan om een grote invloed van bodem en/of teeltdoel te postuleren. Dit is ook wel aannemelijk. De WDV bevat immers een specifieke correctie voor de reflectie van de bodem, waardoor verwacht kan worden dat de WDV onafhankelijk is van de optische eigenschappen van de bodem.



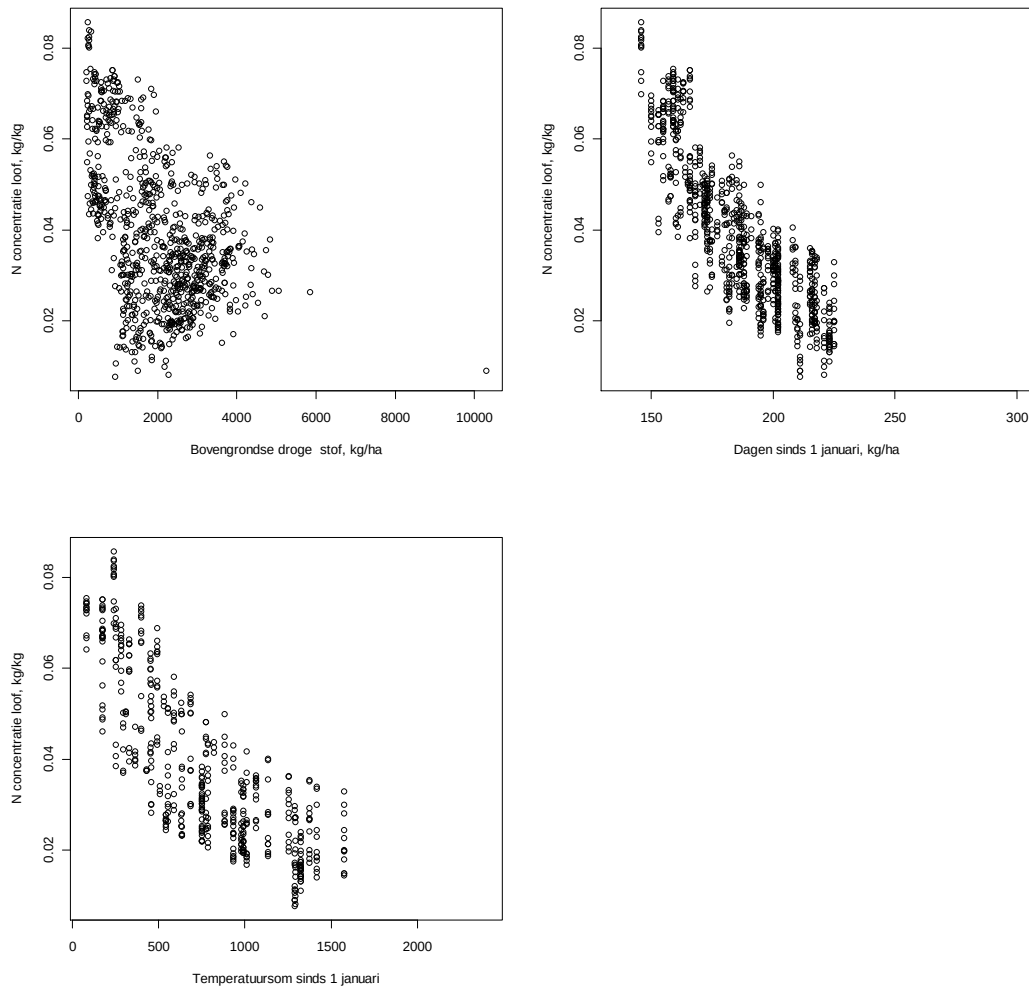
Figuur 7. **Het verband tussen WDWI en (a) bovengrondse verse biomassa, (b) bovengrondse droge stof, (c) N gehalte in bovengrondse droge stof, voor zes in 2010 uitgevoerde proeven en twee in 2011 uitgevoerde proeven.**

Het is mogelijk dat de bodem invloed uitoefent op de wijze waarop het loof zich ontwikkelt. In de literatuur zijn echter geen aanwijzingen dat het type bodem invloed heeft op de Specific Leaf Area (SLA) of de N concentratie gehalte van het loof. Er bestaat wel een gevoel dat zich op zand langer loof ontwikkelt, maar zolang de SLA en de N concentratie niet wezenlijk veranderen, en dus het bladoppervlak alleen op andere wijze in de ruimte verdeeld wordt, kan hiervan geen invloed op het verband WDWI – N-opname verwacht worden.

De spreiding in de schatting van de N-opname wordt grotendeels veroorzaakt door de spreiding van de N concentratie die niet door de WDWI wordt gezien. Er zijn in principe twee mogelijkheden om de schatting van de N opname te verbeteren, namelijk de N concentratie onafhankelijk bepalen, of een vegetatie index gebruiken die wel gevoelig is voor N concentratie.

Verschillen in N concentratie worden o.a. veroorzaakt door verschillen in vocht- en nutriënten- voorziening. Deze variabelen zijn echter moeilijk te bepalen en daarom ook moeilijk te gebruiken als onafhankelijke variabele. Verder neemt de N concentratie af met de leeftijd van het gewas, waarbij de leeftijd uitgedrukt kan worden in aantal dagen of aantal graad-dagen na opkomst. In Figuur 8 is de concentratie N in de bovengrondse droge stof uitgezet tegen de accumulatie van bovengrondse droge stof, tegen de dag van

het jaar, en tegen de temperatuursom. Het is duidelijk dat de concentratie N afneemt met elk van deze variabelen, maar geen ervan is sterk gecorreleerd met de concentratie N. Als temperatuursom of totale hoeveelheid droge stof meegenomen wordt als onafhankelijk variabele in een regressie analyse, is de voorspelling van N opname niet beter dan in het geval temperatuursom en totale hoeveelheid droge stof buiten beschouwing worden gelaten.



**Figuur 8. De N concentratie in de bovengrondse droge stof als functie van (a) bovengrondse droge stof, (b) tijd, en (c) temperatuursom; in de proeven te Droevendaal (1997-2000) en voor PPL in 2010 en 2011.**



## 2.4 Conclusie

De in 2011 uitgevoerde proeven op klei geven geen aanleiding om een aparte ijklijn voor kleiaardappelen op te stellen. De WDWI en de door (Van Evert et al., 2012b) gegeven ijklijn is een methode om de N opname van een aardappelgewas te bepalen.

De fout in de bepaling van de N opname bepaald met WDWI is voor het grootste deel te wijten aan de variatie in de N concentratie van het loof. De N concentratie van het loof neemt af met de leeftijd van het gewas en heeft dus een systematische component. Echter, meenemen van de leeftijd van het gewas (in de vorm van dagen na opkomst, graaddagen na opkomst, of totale biomassa) maakt de schatting van de N opname niet nauwkeuriger. De concentratie van het loof wordt ook beïnvloed door vocht- en nutriëntenvoorziening. Die factoren zijn nauwelijks onafhankelijk in te schatten en kunnen dus niet als regressor dienst doen.

## 2.5 Literatuur

- Clevers J.G.P.W. (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.
- Monteith J.L., Unsworth M.H. (1990) *Principles of environmental physics*. 2nd ed. Edward Arnold, London.
- Schans D.A.v.d., Slabbekoorn H., Blok D. (2012) Sensorgestuurd variabel N-bijmesten van consumptieaardappelen 2011: proef RH11.24 uitgevoerd op Rusthoeve, Colijnsplaat. PPO Rapport nr. 468. PPO, Lelystad.
- Van Evert F.K., Van der Schans D.A., Malda J.T., Van den Berg W., Van Geel W.C.A., Jukema J.N. (2011) Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen: Integratie van sensormetingen in een N-bijmeststelsel. PPO Rapport 423. WUR-PPO, Lelystad.
- Van Evert F.K., Booij R., Jukema J.N., Ten Berge H.F.M., Uenk D., Meurs E.J.J., Van Geel W.C.A., Wijnholds K.H., Slabbekoorn H. (2012) Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. *European Journal of Agronomy* 43:58-67. DOI: 10.1016/j.eja.2012.05.005.
- Vona V., Malda J.T. (2012) Praktijkimplementatie Yara N-Sensor.
- Vos J. (2009) Nitrogen Responses and Nitrogen Management in Potato. *Potato Research* 52:305-317.
- Van Geel Willem, Brigitte Kroonen-Backbier, David van der Schans en Jan Ties Malda (2011) Nieuwe bijmestsystemen en - strategieën voor aardappel op zand en lössgrond (deel 1a deskstudie) rapport 439 WUR PPO

## 3 Kalibratie gewasreflectie sensoren

### 3.1 Aanleiding

Voor gewassensing worden verschillende reflectiesensoren gebruikt. De output verschilt per sensor. Sommige sensoren leveren reflectiedata in bepaalde lichtspectra met berekende waarden voor een vegetatie index. Deze geven een indicatie voor variaties in gewasstatus. Een veelgebruikte waarde is de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Sensorfabrikanten gebruiken ook vaak eigen vegetatie Indexen.

Sensoren verschillen wat betreft de exacte banden van het elektromagnetisch spectrum, frequentie en bandbreedte, die worden gemeten. Dit heeft invloed op de berekende waarde van de vegetatie index. Relatieve verschillen worden door de vegetatie index goed aangegeven maar als, op basis van de index, een hoeveelheid wordt afgeleid is de exacte waarde van de index van groot belang.

Dit is het geval bij het toepassen van de sensorgestuurde N-bijbemesting volgens de methode Booi. Hierbij vormt de vegetatie index WDI (Weighted Difference Vegetation Index) de basis voor het inschatten van de N-opname door het gewas. De WDI is de input voor het berekenen van de N-opname die vervolgens wordt vergeleken met de streefwaarde voor N-opname op dat moment. Bij een lager N opname dan de streefwaarde wordt N bijbemesting geadviseerd. Dit systeem is ontwikkeld met sensing data gemeten met een CropScan sensor. Meetresultaten van sensoren die in de landbouwpraktijk worden gebruikt voor gewassensing wijken af van deze sensor. In het verleden zijn simultaan metingen gedaan met verschillende typen sensoren en is de output vergeleken. In het algemeen hebben de metingen met verschillende sensoren een hoge correlatie als het gaat om reflectie in specifieke elektromagnetische banden en de daaruit afgeleide vegetatie index (lineair verband). Uit deze vergelijkingen blijkt ook dat meetomstandigheden invloed hebben op de relaties tussen de output van verschillende sensoren. Dit geldt voor zowel de gemeten reflectie in specifieke spectra als voor de vegetatie-indices die uit deze reflectiedata worden berekend. Voor het breed toepasbaar maken van sensorgestuurde bijbemesting is het van groot belang dat meetresultaten betrouwbaar zijn en dat relaties tussen waarden gemeten met verschillende sensoren bekend zijn.

Naast de verschillen in meetresultaat tussen sensoren is ook de betrouwbaarheid van de sensor een risicofactor. Sensoren kunnen in de loop van de tijd “verlopen” of defect raken. Ook zijn de omstandigheden van invloed op de betrouwbaarheid van de meetwaarden. Het is daarom nodig dat sensoren regelmatig worden gecontroleerd en gekalibreerd. Tevens is het van groot belang dat de gebruiker op de hoogte is van de randvoorwaarden waarbinnen de meetresultaten betrouwbaar zijn.

In dit hoofdstuk wordt aan deze aspecten aandacht besteed.

### 3.2 Achtergrond

#### **Vegetatie indexen berekend uit metingen met verschillende sensoren**

WDI kan op basis van reflectie van verschillende elektromagnetisch banden worden berekend.  $WDI_{\text{groen}}$  wordt berekend uit de groene (560 nm) en nabij infrarode reflectie (810 nm) en  $WDI_{\text{rood}}$  wordt berekend op basis van reflectie van rood (660 nm) en nabij Infra rood (810 nm). Sensoren die in de praktijk worden gebruikt meten de reflectie van NIR vaak niet in de 810 nm band maar bijvoorbeeld in bij 760 nm met een bandbreedte van 10-25 nm. Ook voor het meten van “rood” wordt niet bij elke sensor dezelfde band gebruikt. De waarde van de vegetatie index kan hierdoor per sensor verschillen. Per sensor moet daarom een verband worden afgeleid van de vegetatie index met de gewasvariabele die nodig is. In het geval van N-bijmestsystemen in aardappel is dit de N-opname door het gewas. In dit verslag is onderzocht of er, uit waarnemingen met verschillende sensoren boven hetzelfde gewas een betrouwbaar verband kan worden vastgesteld tussen vegetatie indexen van de sensoren om de waarde af te leiden die past in het bijmeststelsel van methode Booi.

#### **Kalibratie**

Voor de afbakening van het meetbereik van de sensoren worden filters gebruikt. Na verloop van tijd “verlopen” de filters waardoor het meetbereik verandert. Dit kan in zekere mate worden opgevangen door

de sensoren opnieuw te kalibreren of filters kunnen worden vervangen. Of kalibratie nodig is kun je aan de sensor output moeilijk vaststellen. Het meest veilig is het om de sensoren jaarlijks of één maal per twee jaar bij de fabrikant te laten kalibreren. Kalibratie kan meestal niet door de gebruiker worden gedaan.

### Meetprincipe

Een derde punt waardoor meetresultaten tussen verschillende sensoren kan verschillen is het meetprincipe. De sensoren kunnen worden ingedeeld in 2 groepen: sensoren die zowel invallend als gereflecteerd licht meten en sensoren met een eigen lichtbron, de zogenaamde ALS (Active Light Sensor) sensoren.

Sensoren die zowel het invallende (zon) licht als het weerkaatste zonlicht meten, worden sterk beïnvloed door de hoek waaronder de zonnestraling binnen valt en in mindere mate beïnvloed door bewolking, in feite de verhouding tussen direct licht en diffuus licht. Ook kan beschaduwning van het oppervlak dat wordt gemeten het resultaat beïnvloeden.

ALS sensoren sturen pulsen licht van de meetfrequenties uit en de sensor vangt een deel van dit licht op. Software in de sensor berekent het aandeel reflectie. Het voordeel van dit type sensoren is dat ook bij weinig licht en 's nachts kan worden gemeten.

De invloed van omgevingslicht dat ook wordt gereflecteerd en bij de sensor komt is niet bekend maar moet zeker op dagen met veel straling en bij lage zonnestand invloed hebben.

- 1) vaststellen en testen protocollen voor sensorijking en uitvoeren kalibratie voor 4 typen sensoren.
- 2) analyse ijkdata en rapportage: relaties tussen sensoren t.o.v. referentie instrument + uitkomst gebruik kalibratie protocol.
- 3) terugkoppeling resultaten door onderzoekers met sensorproducenten en gebruikers

## 3.3 Materiaal en Methode

### Test protocol sensoren

Tabel 2 **Lijst van geraadpleegde deskundigen voor het testen van gewassensoren.**

|   | Naam                                          | bedrijf/organisatie                                                                             | Adres                                                                             | email                                                                                                                                          |
|---|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Jim Wilson                                    | SoilEssentials Ltd                                                                              | Hilton of Fern,<br>By Brechin,<br>Angus DD9 6SB Scotland                          | jim@soilessentials.com                                                                                                                         |
| 2 | Del Nantt                                     | C R O P S C A N, I n c.<br>Multispectral<br>Radiometry & Data<br>Acquisition Control<br>Systems | Viola Heights Lane NE<br>Rochester, MN 55906,<br>USA                              | <a href="mailto:CropScan@compuserve.com">CropScan@compuserve.com</a>                                                                           |
| 3 | Lammert<br>Kooistra &<br>Harm<br>Bartholomeus | WUR - Laboratory of<br>Geo-Information<br>Science and Remote<br>Sensing                         | Droevendaalsesteeg 3<br>6708PB Wageningen.<br>Postbus 47<br>6700AA Wageningen     | <a href="mailto:Lammert.kooistra@wur.nl">Lammert.kooistra@wur.nl</a><br><a href="mailto:Harm.bartholomeus@wur.nl">Harm.bartholomeus@wur.nl</a> |
| 4 | Bert Meurs &<br>Dik Uenk                      | WUR PRI-<br>agrosysteemkunde                                                                    | Droevendaalsesteeg1<br>6708PB Wageningen.<br>Postbus 616<br>6700AP Wageningen     | <a href="mailto:Bert.meurs@wur.nl">Bert.meurs@wur.nl</a>                                                                                       |
| 5 | Jan Nammen<br>Jukema                          | Agrometius                                                                                      | <b>Vestiging Nederland</b><br>Maatschapslaan 39<br>2404 CL Alphen aan den<br>Rijn | <a href="mailto:jn.jukema@agrometius.nl">jn.jukema@agrometius.nl</a>                                                                           |
| 6 | Petra van Vliet                               | Blgg-AgroXpertus                                                                                |                                                                                   | petra.vanvliet@blgg.agroxpertus<br>.com                                                                                                        |
| 7 | Jacob van den<br>Borne                        | Van den Borne<br>aardappelen                                                                    | <b>Reusel</b>                                                                     | <a href="mailto:jacobvandenborne@gmail.com">jacobvandenborne@gmail.com</a>                                                                     |
| 8 | Gerrit Polder                                 | WUR –PRI biometris                                                                              | <b>Postbus 100</b><br><b>3200AC Wageningen</b>                                    | Gerrit.polder@wur.nl                                                                                                                           |
| 9 | Marleen Lamain                                | Weister Klap Advies                                                                             | Havenstraat 18<br>9964 AN Wehe-Den Hoorn                                          | m.lamain@hetnet.nl                                                                                                                             |

Voor het uitwerken van een testmethode voor gewassensoren is met een aantal deskundigen contact geweest.

Na een eerste gesprek met contacten 1,3,6,7,9 om de problematiek van toepassingen van near sensing te inventariseren is er een concept test protocol opgesteld. Dit concept is aan een bredere groep deskundige voorgelegd. Naar aanleiding van hun commentaar is het protocol aangepast.

Met de eindversie van het protocol is met 3 typen sensoren metingen doorlopen:

1. CropScan
2. Greenseeker
3. CropCircle

## 3.4 Resultaten

### 3.4.1 Testprotocol versie 1

Omdat buitenlandse deskundige betrokken zijn bij het tot stand komen van het protocol is de concept versie van het protocol in het Engels gemaakt.

#### **Testing reliability of sensors**

A sensor mounted on a tractor or implement is subject to mechanical and climatic forces and can be disrupted. Dust, rain, temperature, shocks cannot be avoided while using sensors on a farm.

A sensor user must have the possibility of checking the functioning of the sensor at any moment. This check should be easy to carry out.

The most simple method is to measure reflection of white PTFE nylon sheet for 100% reflection and covering the sensor with metallic tape for 0% reflection. The calculated NDVI should respectively 1 and 0. If this is not the case the sensor should be calibrated.

#### **Testing the exact level of measurement**

To check if the sensor values in the different bands are correct a number of reference measurements are required of reflections from standard panels.

Following panels could be used (possibly a wider selection of colors)

white PTFE nylon sheet                      100% reflection.

Standard RAL colour Orange 2000

standard RAL colour Green 6002

standard RAL colour Brown 8011

standard RAL colour Black 9005

covering the sensor with metallic tape      0% reflection

#### **Calibrating different sensors and comparing reflections**

In order to fit different sensors into a system that uses Vegetation Index (VI) to estimate N-uptake in the crop canopy, the VI's calculated from different sensors should have a good correlation ( $r^2 > 0.9$ )

The correlation between VI's from different sensors can be obtained by measuring standard coloured surfaces with a specific sensor and a calibrated sensor that has been used to determine the algorithms.

#### **Measuring conditions during testing and calibration**

Position of the panels horizontal.

Position of the sensor vertical unless the instructions for use of the sensor indicate otherwise

Sensor height 1 and 2 meter above the panels

Daylight. but No direct sunlight sensing area covered with shade cloth

No reflecting surfaces in the direct surroundings of the test panels

The surface measured should be larger than the "view" of the sensor.

### 3.4.2 Commentaren en input van deskundige n.a.v. testprotocol concept

Marleen Lamain

Comment on the test protocol.

It would be great to have a universal and easy-to-use calibration protocol but I wonder if this will be possible at short notice. It seems to me that there are a lot of theoretical questions to be answered first, e.g. about the influence of using artificial or natural light, different brands measuring in different bandwidths and yet claiming the same sort of result, perceived differences in the relation between NDVI and N-content in different crops, differences in soil reflection for clay and sandy soils etc. etc..

Our experiments with CropCircle in Usquert in 2011 gave me the impression that for every day practice, interpreting relative results per field or farm may make more sense than comparing absolute 'universal' values. And therefore, for the time being, I would be most happy if I had a simple test to check whether the sensors work more or less according to the manufacturer's specifications. This would require (1) a way to check that 0 is about 0 and that 1 is about 1 and (2) the possibility to get a warning when certain deviations occur in the scanning process. The former could probably be done through the metallic tape and the white sheet, the latter through software (Farmworks has a filter for this sort of things).

However, this does not mean that trying to develop general standards and a corresponding protocol on the long term would be useless.

Petra van Vliet (Blgg AgroXpertus)

Comments on the concept test and calibration protocol:

I agree with all the problems, but have some problems with testing at different colour ranges. I agree with Lammert that certain colours might not give good measurements.

A main problem is, the effect of the height of the sensor. I have understood from Jim that the height of the sensor very much affects the sensor reading; by using ratio's in vegetation indices, the height problem is eliminated. So instead of testing the output of the different wavebands, I would prefer to compare vegetation indices.

I see 2 calibration methods:

1) within brand (sensor calibration)

a) for the farmer: he should be able to test his sensors for a 0 and 1 value and by scanning a similar area with the different sensors (same brand), he should get then similar results (but when do you call results similar??)

b) an extensive calibration method as David proposes. With the sensors at a set height, (so no effect of height on the waveband result) and then measuring the different coloured panels. Maybe somebody could make that a service to farmers, if they want to be certain that the sensors measure in a similar way.

2) between brands

For this we should measure with as many different brands as possible on the same location on the same day and time as possible. Then it is possible to calculate factors to recalculate the NDVI from a Greenseeker or CropCircle into an NDVI from the CropScan.

Probably need to do this a few times during the growing season (different crops and different crop conditions).

We should select a field with different nutrientlevels and scan them a couple of times during the growing season.

Lammert Kooistra (WUR)

Kooistra en van den Borne deden een experiment met verschillende sensoren (Kooistra en van den Borne 2012) met de bedoeling tot kalibratie van Close range sensoren te komen. Dit experiment werd uitgevoerd met sensoren van Greenseeker, Isaria van Fritzmeijer en CropCircle in een verduisterde loods.

De methode die bij dit experiment werd toegepast was niet geschikt voor sensor testing. Kooistra doet de volgende aanbevelingen.

Om tot een goede beoordeling van de vergelijkbaarheid tussen sensoren te komen dienen aanvullende experimenten te worden uitgevoerd. Hierbij moet met de volgende zaken rekening worden gehouden.

- Van de sensoren zouden zoveel mogelijk de basis reflectie metingen moeten kunnen worden gemeten;
- Wanneer dit niet mogelijk is zouden aanvullende referentie materiaal moeten worden gekozen die in voor de gemeten indices een duidelijk range geven;

Zowel metingen in verduisterde omgeving als ook in buitenlicht condities om effect van aanvullende licht inval te kunnen beoordelen.

Bert Meurs en Dik Uenk  
Modeling commentaar.

Uenk en Meurs hanteerden referentie metingen om de CropScan sensor te testen. Zij gebruikten hiervoor testpanelen in standaard kleuren grijs, wit en zwart en vaste plekken in de omgeving, bestrating grond en gras. De CropScan sensoren werden periodiek naar de fabrikant Del Nantt (CROPSCAN, Inc.) gestuurd voor kalibratie. Als de sensoren waren gekalibreerd werden de reflectie waarden van de referentie punten vastgesteld en dit werd regelmatig herhaald. Als de meetwaarden begonnen af te wijken werden de sensoren naar de fabrikant gestuurd voor een herkalibratie. Op basis van ervaringen met deze procedure is vastgesteld dat herkalibratie eens per twee jaar nodig is en zijn de referentie metingen achterwege gelaten. Resultaten van deze referentie metingen zijn niet in een rapportage vastgelegd zodat de methode niet reproduceerbaar is. Op basis van bovenstaande is contact gelegd met Del Nantt (CROPSCAN, Inc.) en deze heeft in onderstaande reactie een uitgebreid commentaar gegeven op het concept test protocol.

Del Nantt

I understand that the Greenseeker and Crop Circle sensors are pre-calibrated at the factory before being shipped. I am not aware of any customer recalibration of the devices, aside from returning them to the factory. I understand that you are looking for a way to cross-calibrate them to common known reflecting targets.

As you may know, the Greenseeker and Crop Circle's primary reading output is NDVI, though one or the other or both can provide other vegetative index values. NDVI is defined as,

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR}-\text{Red})}{(\text{NIR}+\text{Red})}$$

NDVI can be calculated from the MSR Reflectance values in the POSTPROC output .RFL files containing both a red and near-infrared (NIR) bands, typically 660 and 810 nm or center wavelength bands close to those.

The equation for NDVI is

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}\%rfl - \text{RED}\%rfl}{\text{NIR}\%rfl + \text{RED}\%rfl}$$

where %rfl indicates percent reflectance.

For our MSR87 radiometer, some have used the 660 and 810 nm CWL (Center WaveLength) bands. For our MSR5 radiometer (Landsat TM similar bands), 660 and 830 nm CWL bands have been used. Because of different radiometer center wavelength and bandwidths (BW) used the resulting NDVI calculation of the same target area would be a little bit different. In reporting NDVI results, it is recommended to identify the CWL and BWs which were used.

So, calculating NDVI from the RED and NIR bands of the MSR16, allows direct comparison to the NDVI readings of the Greenseeker and CropCircle.

When we calibrate our MSRs, we perform a cross-calibration to a Spectralon panel and follow that with some calibration check readings from various colored panels. Refer to

[www.CropScan.com/colorcards.html](http://www.CropScan.com/colorcards.html).

Below are the typical reflectance readings of those panels for the 660 and 810 nm bands and the corresponding NDVI values.

| Panel or Surface | Reflectance% |        | Vegetatie Index |
|------------------|--------------|--------|-----------------|
|                  | 660 nm       | 810 nm | NDVI            |
| Spectralon       | 99.9         | 99.9   | 0.0000          |
| BaSO4            | 95.7         | 95.5   | -0.001          |

|              |      |      |               |
|--------------|------|------|---------------|
| red          | 83.3 | 89.3 | 0.035         |
| green        | 6.7  | 11.5 | 0.263         |
| blue         | 7.0  | 24.4 | 0.555         |
| gray         | 12.1 | 15.6 | 0.126         |
| black        | 5.3  | 5.2  | -0.009        |
| dark         | 0.0  | 0.0  | indeterminant |
| Grass (lawn) | 3.4  | 45.2 | 0.859         |

Note that the NDVI of highly reflective white Spectralon, White Barium Sulfate and Black cards are all about the same and close to 0.000. I suppose part of the calibration would be seeing that the NDVI remains constant throughout the full range of irradiance from targets where IR and NIR remain relatively constant.

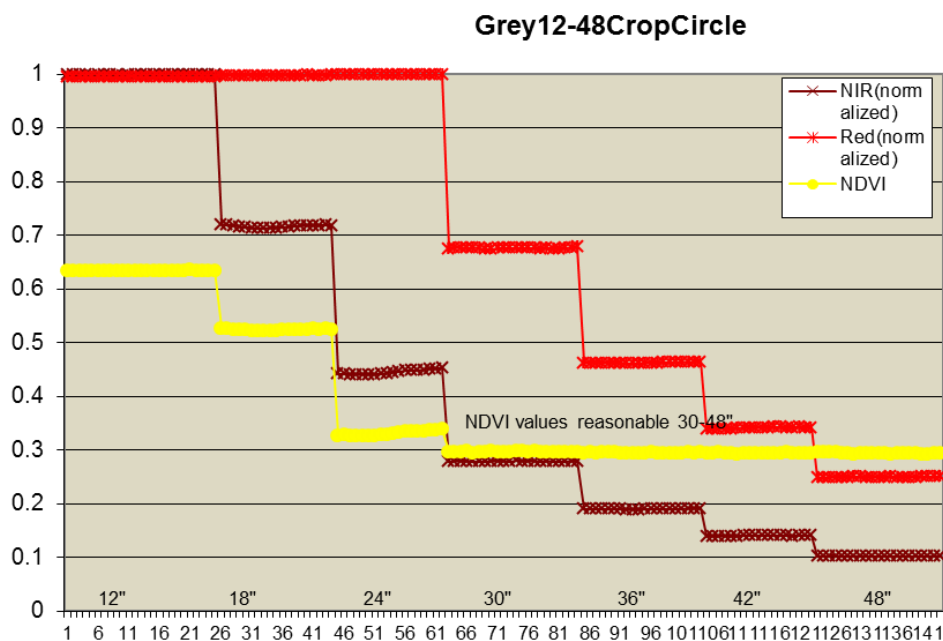
The other aspect of NDVI calibration are choosing reflecting targets that span as much of the NDVI range as possible. The largest NDVI value (0.555) came from my check reference cards was from the blue card. Of course, grass gives higher NDVI values (0.859 above), however it is a more difficult to compare Greenseeker, Crop Circle and CropScan MSR, from a calibration sense, because their viewing geometry is different, narrow ellipses compared to circle and possible variation of grass reflectances within those areas. I've heard that wet blue jeans material (denim) has an NDVI reflectance somewhat similar to grass (i.e. higher NIR reflectance than IR. I have not yet tried that as an NDVI check surface.

It is my understanding that the Greenseeker and Crop Circle sensors do not output negative NDVI values. The CropScan MSR readings will allow for negative NDVI values. That is, where the Red reflectance values are greater than the NIR values. I'm not aware of any vegetation in which that circumstance is true, so calibrating across the negative NDVI range is probably not of interest to you. While solar irradiance contains a little bit more energy in narrow red band than in a narrow NIR band, I'm not aware of any reflecting surfaces that reflect less narrow-band NIR than narrow-band Red. Perhaps it could be created by putting heat-absorbing glass over a red colored panel. Another parameter to keep in mind is height of the sensor above the calibration reference surface and the height normally used in the field.

One of my nearby customers here in Minnesota has a Greenseeker, Crop Circle and CropScan MSR sensor systems. We had the opportunity to work together one day to take some various readings over white cards, gray cards and grass. The white and gray card readings were made indoors with the Greenseeker and Crop Circle. Over grass, all three sensors were used. Readings were made 12, 18, 24, 30, 36, 42, and 48 inch heights to see how the three sensors responded to differences in heights above the reflecting surface. See Figuur 9 en Figuur 10.



Figuur 9. Reflectie metingen boven een grijs paneel met Greenseeker sensor op verschillende hoogtes (bron: Del Nantt CropScan Corp).



Figuur 10. Reflectie metingen boven een grijs paneel met CropCircle sensor op verschillende hoogtes (bron: Del Nantt CropScan Corp).

Gerrit Polder PSG - Biometris

Gerrit Polder is onderzoeker bij Biometris. Biometris is een samenwerkingsverband tussen de business unit Biometrie van PRL en de leerstoelgroepen Toegepaste Wiskunde en Toegepaste Statistiek van Wageningen Universiteit. Biometris is dé expertisegroep binnen Wageningen UR op het gebied van kwantitatieve methoden. Hij is deskundig op het gebied van imaging spectroscopy. In 2003 publiceerde hij een artikel in het tijdschrift Journal Near Infrared Spectroscopy, met de titel: Calibration and characterisation of imaging spectrographs. (Polder, Gerrit et al., 2003). In dit artikel worden factoren genoemd die van invloed zijn op het resultaat van metingen van lichtintensiteit in specifieke spectra. Dit zijn het spectrum van de lichtbron, de quantum efficiency van de sensor, de snelheid van aflezen en de temperatuur van de sensor. Hij noemt dat het spectrum van de lichtbron varieert in de tijd door veroudering. Dit bevestigt de noodzaak voor periodieke kalibratie van de sensor. Eisen die in het werk van Polder aan spectroscopen worden gesteld zijn veel zwaarder dan bij sensoren waar de meetwaarden worden omgerekend naar een vegetatie index. Polder gebruikt bij zijn toepassingen vaak de absolute reflectie in specifieke banden.

### 3.4.3 Test protocol sensoren

Het concept testprotocol is naar aanleiding van de input van de deskundigen aangepast. De doelstelling van het protocol is het vaststellen van de noodzaak voor herkalibratie van de sensor. Het kalibratie moet via de dealer van de sensor volgens voorschriften van de fabrikant worden uitgevoerd.

Enkel metingen zijn uitgevoerd met een Greenseeker sensor, twee CropCircle sensoren en een CropScan referentie sensor volgens het protocol.

#### Referentie metingen individuele banden

Om de sensorwaarden van individuele banden te testen wordt gebruik gemaakt van referentie panelen.

De panelen zijn gemaakt door 9 mm MDF platen, afmetingen 110 cm x 110 cm te verven.

De gebruikte kleuren zijn

|        |               |                    |
|--------|---------------|--------------------|
| Zwart  | Zwartbruin    | Ralnummer 8022     |
| Grijs  | Signaal grijs | Ralnummer 7004     |
| Oranje | Geel-oranje   | Ralnummer 2000     |
| Groen  | Mais groen    | Ralnummer 6017     |
| Rood   | koraal rood   | Ralnummer 3016     |
| Wit    | wit/blanc     | Histor nummer 6400 |



De panelen zijn geschilderd met 2 lagen halfmatte lak en een laag zeer matte grondlak. Dit werd door Del Nantt (CropScan inc.) geadviseerd. Er is voor Ral kleuren gekozen vanwege de reproduceerbaarheid van de kleur.

### **Meetomstandigheden**

Panelen horizontaal.

Richting van de sensoren verticaal naar beneden.

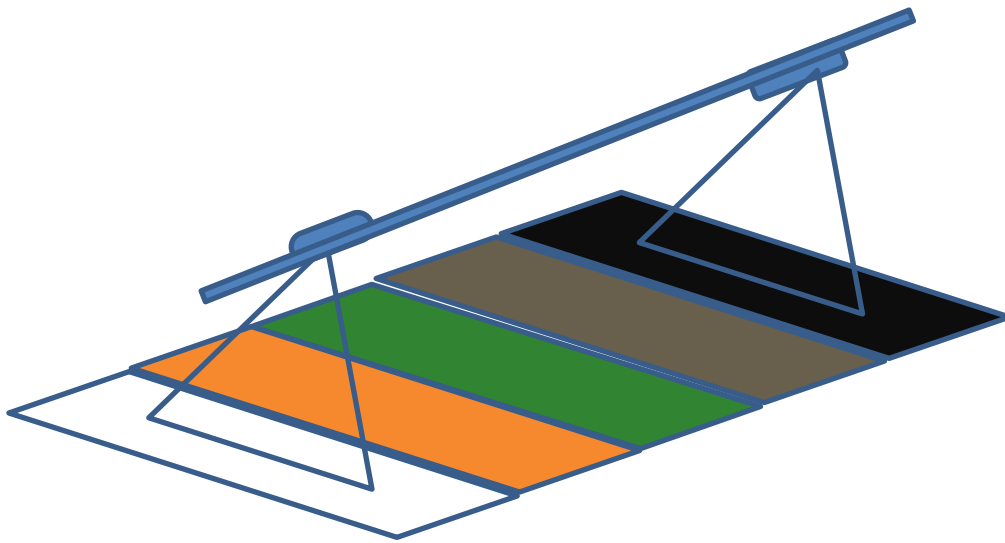
Sensorhoogte boven panelen 0,70 cm en 1,50 cm.

Metten bij daglicht geen direct zonlicht.

metten bij egale bewolking of onder wit zonnenscherm.

Geen reflecterende vlakken in de directe omgeving (binnen 15 meter).

Het paneel moet groter zijn dan de "view" van de sensor.



Afbeelding 1. **Schets van opstelling t.b.v. kalibratie reflectie sensoren.**

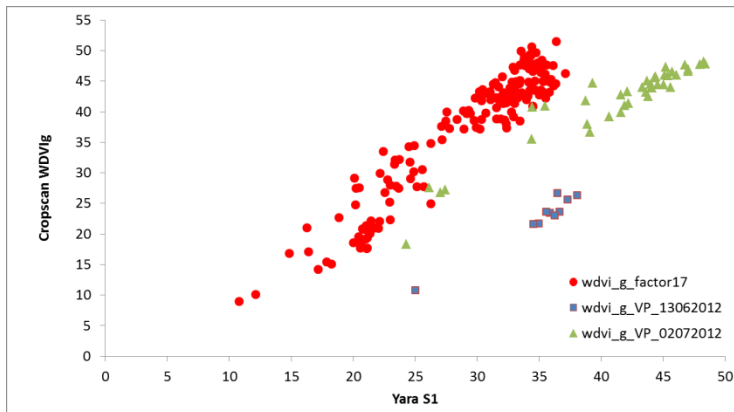


Afbeelding 2. **Opstelling kalibratie reflectie sensoren bij PPO te Lelystad.**

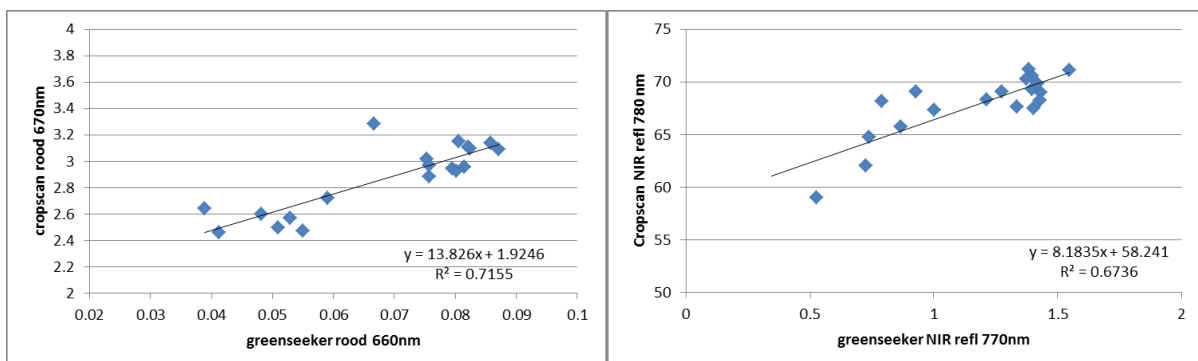
### 3.4.4 Resultaten sensor vergelijking en test

#### Sensorvergelijking

Op diverse proefvelden zijn simultaan metingen gedaan met met verschillende sensoren. In Figuur 11 zijn data samengebracht van de metingen op een stikstoftrappen proef uit 2010 in Valthermond en metingen op twee tijdstippen op een stikstoftrappen proef in 2011 in Vredepeel met de Yara sensor zonder actieve lichtbron en de CropScan sensor. Per situatie had de relatie tussen de vegetatie index berekend uit meetwaarden gemeten met de twee typen sensoren een hoge correlatie. Het verband verschilde echter sterk tussen de meetmomenten. Het is niet duidelijk wat de verschillen veroorzaakte.



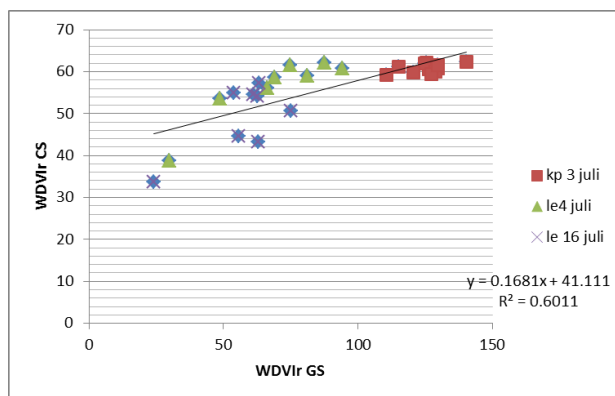
Figuur 11 . Reflectie metingen boven verschillende aardappel percelen met Yara sensor en CropScan sensor.



Figuur 12 . Relaties van meetwaarden voor reflectie in het rode en Nabij Infra Rode (NIR) spectrum boven aardappelen in N-trappenproeven in Valthermond en Lelystad in 2011 met een Greenseeker sensor en CropScan sensor.

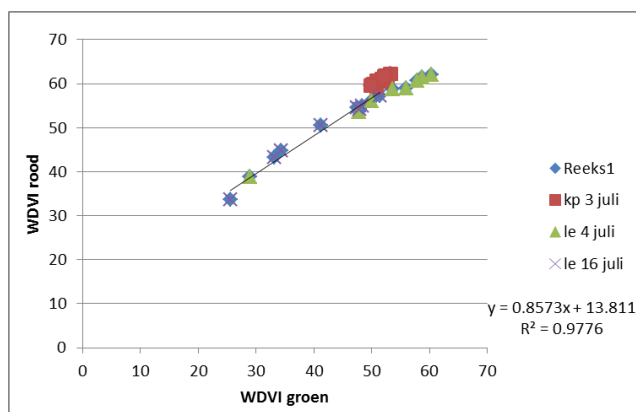
Figuur 12 laat zien dat de meetwaarden voor reflectie boven een aardappelgewas met twee typen sensoren op hetzelfde moment en boven dezelfde plaats gemeten een matige correlatie hebben. Bovendien verschilt de presentatie van de waarden. De CropScan sensor presenteert het percentage gereflecteerde straling. De eenheid waarin de Greenseeker sensor het meetresultaat presenteert is niet bekend.

Op basis van beide sensoren zijn waarden voor de WDV<sub>rood</sub> berekend. Deze vegetatie Index kan worden gebruikt als invoer voor het adviessysteem voor N-bijbemesting in aardappelen volgens Booij om een schatting te maken van de stikstof-opname. In Figuur 13 is het verband weergegeven van de WDV<sub>rood</sub> waarden voor beide sensoren. De berekende waarden hebben een matige correlatie en een onvergelykbaar niveau van vegetatie index. Dit betekent dat bij de omrekening van vegetatie index berekend uit Greenseeker opname naar een vegetatie index berekend uit opname met de CropScan sensor grote onnauwkeurigheid ontstaat. Deze werkwijze kan hierdoor niet worden gebruikt om sensor data van andere sensortypen om te rekenen naar een vegetatie index die uit data uit de CropScan sensor zouden zijn berekend. Het betekent dat de meetmethode die per sensor verschilt tot een wezenlijk andere uitkomst leidt.



Figuur 13 . Relatie tussen vegetatie index  $WDVI_{rood}$  ( $WDVir$ ) berekend uit meetwaarden voor twee sensortypen Green seeker (GS) en CropScan (CS) boven aardappelen in N-trappenproeven in Valthermond en Lelystad in 2011 en het verband tussen de indices voor beide sensortypen.

Figuur 14 laat zien dat verschuiving in de voor de vegetatie index berekende golflengten wel tot een betrouwbare kalibratie kan leiden. Als met dezelfde sensor werd gemeten bestond er een zeer goede relatie tussen  $WDVI$ 's ook als de gebruikte banden afweken. Van verschillen in bandbreedtes is sprake bij gebruik van verschillende sensoren. Greenseeker meet 660 nm en 770 nm met een bandbreedte van 25 nm CropScan sensor meet 670 nm, 730 en 760 nm met een bandbreedte van 10 nm en Yara sensor (zonder lichtbron) meet alle bandbreedte tussen 400 en 1000 nm met een bandbreedte van 10 nm.



Figuur 14 . Relatie tussen vegetatie index  $WDVI_{groen}$  en  $WDVI_{rood}$  berekend uit meetwaarden voor de CropScan sensor boven aardappelen in N-trappenproeven in Valthermond en Lelystad in 2011.

In dit voorbeeld is met de banden 560 nm en 810 nm de  $WDVI_{groen}$  berekend en met de banden 670 nm en 810 nm de  $WDVI_{rood}$ . Reflecties in alle banden zijn met de CropScan sensor gemeten.

#### Sensortest

##### Werkwijze

Met de sensoren werd de reflectie boven de kleurenpanelen gemeten. Om met de praktijksensoren te meten is het nodig de configuratie geschikt te maken voor de opname van de panelen. Praktijksensoren zijn normaliter verbonden met een GPS ontvanger en een data logger. Voor de testwaarnemingen is een verbinding met een GPS ontvanger niet nodig. Voor zowel CropCircle als Greenseeker is een handheld versie op de markt. Voor de Greenseeker was deze voor de test metingen beschikbaar voor de CropCircle was deze niet beschikbaar en is met de praktijk configuratie met RTK GPS ontvanger en Trimble autopilot gewerkt. Deze opstelling is onhandig. De data worden in één bestand opgeslagen. Onduidelijk is waar de opname boven het ene paneel eindigt en boven een ander paneel begint. Dit vereist tijdrovend handmatig bewerken van de datastroom.

In een test opstelling moeten sensoren snel kunnen worden gewisseld. Dit kan met beide systemen niet. Er werd op een hoogte van 80 cm boven de kleurenpanelen gemeten met CropScan, Greenseeker en CropCircle sensoren. Met de CropScan werden 6 opnamen gemaakt van elk kleurpaneel en daarvan werd het gemiddelde genomen. Met de Greenseeker werd gedurende ca 3 seconden boven elk paneel een meting gedaan. De Greenseeker was verbonden met een NOMAD handheld veld computer. Deze handheld

uitvoering sensor meet automatisch enkele keren per seconde wat neerkwam op 10-15 opnamen per paneel. Er waren twee CropCircle sensoren beschikbaar voor de metingen. Deze sensoren waren verbonden met de Geoscout. De opname met de Geoscout kan alleen worden gedaan als deze is verbonden met een GPS ontvanger. Deze configuratie is onnodig ingewikkeld met name wat betreft het uitlezen van de data. Voor een goede test opstelling moet hiervoor een oplossing worden gevonden.

## Resultaten

In Tabel 3 zijn de resultaten van de meting met de drie sensoren weergegeven. De CropScan output laat de reflectie percentages zien en de Vegetatieindex NDVI berekend uit de banden 670 en 760 nm. Deze banden komen overeen met de banden waarin de sensoren van Greenseeker en CropCircle meten.

Opvallend zijn de verschillen in waarden waarmee het meetresultaat wordt weergegeven. In het onderzoek van Dell Nant zijn de waarden van de sensoren genormaliseerd. Om de waarden te vergelijken is deze normalisatie wenselijk. Dit zou in een test procedure moeten worden opgenomen. Dit is in het kader van dit onderdeel niet gedaan.

**Tabel 3 Resultaten van de metingen boven referentiepanelen met CropScan, Greenseeker en CropCircle sensoren in 2012**

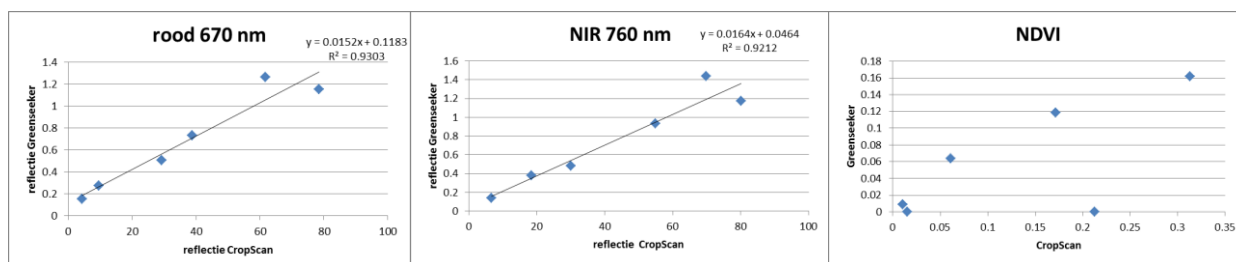
| CropScan | RED      | Red Edge | NIR      | NIR      |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | 560      | 670      | 730      | 760      | 810      |
|          |          |          |          |          | NDVI     |
| wit      | 82.12167 | 78.54167 | 82.91667 | 80.175   | 85.29833 |
| grijs    | 30.89333 | 29.18    | 30.52    | 30.08333 | 30.625   |
| zwart    | 3.655    | 4.343333 | 5.485    | 6.691667 | 6.726667 |
| rood     | 6.63     | 38.83    | 53.615   | 54.90833 | 55.75333 |
| groen    | 25.07167 | 9.638333 | 14.135   | 18.41333 | 22.68333 |
| oranje   | 25.52333 | 61.76333 | 70.43667 | 69.81    | 74.34667 |

| Greenseeker | RED      | NIR      | NDVI     | VI-2     |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| wit         | 1.154813 | 1.17512  | 0.008733 | 0.9828   |
| grijs       | 0.508044 | 0.484    | 0        | 0.999    |
| zwart       | 0.1518   | 0.141053 | 0        | 0.999    |
| rood        | 0.733837 | 0.931416 | 0.118632 | 0.787789 |
| groen       | 0.272341 | 0.377553 | 0.161941 | 0.721412 |
| oranje      | 1.265844 | 1.437713 | 0.063688 | 0.880438 |

| Crop Circle | VI 1     | VI 2     | RED      | Red Edge | NIR      |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| wit         | 0.031769 | 0.043923 | 23.98877 | 25.56415 | 23.41831 |
| grijs       | 0.261767 | 0.499667 | 20.2377  | 34.58857 | 11.53897 |
| zwart       | 0.037944 | 0.076556 | 23.86489 | 25.75289 | 22.13161 |
| rood        | 0.045056 | 0.081    | 23.729   | 25.96478 | 22.10183 |
| groen       | 0.040941 | 0.060941 | 23.80818 | 25.84    | 22.87829 |
| oranje      | 0.003333 | -0.01444 | 24.57433 | 24.73467 | 25.46122 |

Voor meting met de Greenseeker en de CropScan sensor op de gehanteerde meethoogte waren de panelen van 110 x 110 cm voldoende groot voor de FOV (field of View) van de sensor. Bij de CropCircle sensoren staat dit niet vast. De meetwaarden van deze sensoren wijken sterk af van die van de andere twee sensoren evenals de VI. Er werd dan ook geen verband gevonden tussen meetwaarden van de CropCircle sensoren en één van de andere sensoren. Het meetprotocol moet hierop worden aangepast. Onderstaand worden de relaties tussen deze sensoren inde Cropscan en Greenseeker waren wel verbanden De relaties van meetwaarden zeker de

Relaties tussen meetwaarden



Figuur 15 Relatie tussen meetwaarden voor 670 en 760 nm en de daaruit berekende NDVI bij de CropScan en Greenseeker sensor

De meetwaarden van beide sensoren hebben een lineair verband met een hoge correlatie coëfficiënt (Figuur 15). Alleen boven het oranje en het witte paneel is wijken de meetwaarden van de twee sensoren af van de relatie. Bij de berekening van de NDVI worden de waarden boven het grijze en zwarte paneel voor de Greenseeker 0.

### 3.5 Conclusie en aanbeveling

Uit de beperkte gegevensset van metingen boven de panelen met de CropScan en Greenseeker sensor en de metingen van Del Nantt blijkt dat op deze wijze kan worden vastgesteld of een sensor een betrouwbare meting geeft. Het uitvoeren van deze test is echter een arbeidsintensief en nauwkeurig karwei. Met de beperkte middelen die voor dit onderdeel van het project beschikbaar waren kon niet voldoende op de achtergronden worden ingegaan om een betrouwbaar test protocol te ontwikkelen.

Sensor testing zal moeten worden uitgevoerd door specialisten omdat de procedure nauwkeurig moet worden gevolgd en de referentie panelen in goede staat moeten worden gehouden.

Panelen in referentiekleuren moeten minimaal de grootte van de FOV (field of view) van de sensor hebben. De afmeting van 110 cm x 110 cm is te klein voor alle sensoren. De gebruikte panelen waren al moeilijk hanteerbaar. Bij grotere panelen wordt het nog moeilijker.

Uit de ervaring van onder anderen Del Nantt blijkt dat “omgevingsfactoren” van invloed zijn op de meetwaarden. Vermoedelijk hebben verschillen in lichtintensiteit door bewolking en zonnestand (hoek t.o.v. de sensor) een belangrijke invloed. In de software van de CropScan sensor wordt hiervoor gecorrigeerd. Door de instelling van plaats en tijd wordt rekening gehouden met de zonnestand.

Voor toepassing van sensing technieken in de landbouwpraktijk met praktijksensoren is het van groot belang dat de meetwaarden betrouwbaar zijn. Als een sensor in eigen beheer wordt gebruikt komt het onderhoud en het goed functioneren van de sensor voor de verantwoordelijkheid van de beheerder. Deze moet daarvoor periodiek de sensoren laten testen en zo nodig laten kalibreren. Leveranciers van sensoren kunnen hierbij een rol spelen.

### 3.6 Referenties

Kooistra, Lammert en Jacob van den Borne (2012) Kalibratie experiment close range sensoren.

## 4 Monitoring Praktijk Implementatie

Op vier locaties, nl. Vierhuizen, Valthermond, Lelystad, Biddinghuizen en Reusel is bijmesten op basis van een sensor vergeleken met de telerspraktijk. Op iedere locatie is een praktijkstrook aangelegd die is bemest volgens de praktijk van de teler. Daarnaast is op iedere locatie een strook aangelegd die is bemest aan de hand van sensor-waarnemingen. Het bijmeststelsel van Booij (Van Evert et al., 2011; Van Evert et al., 2012b) vormde hierbij het uitgangspunt, maar in een aantal van de proeven werd in meerdere of mindere mate van dit stelsel afgeweken. In het onderstaande worden de proeven beschreven en worden N-giften en opbrengsten vergeleken.

### 4.1 Vierhuizen

In deze proef werden pootaardappelen (ras Mustang) geteeld. Stelsel-Booij is niet voor pootaardappelen gedefinieerd. Daarom werd het stelsel in deze in aangepaste vorm toegepast.

#### 4.1.1 Materiaal en methoden

De proef werd uitgevoerd op het bedrijf van Maatschap Claassen te Vierhuizen. De aardappels werden gepoot op 19 april 2011, met 75 cm tussen de rijen en 13-15 cm tussen de knollen. Een volledige beschrijving van de proef wordt gegeven in (Van der Schans et al., 2011).

De proef omvatte twee factoren. De factor "bijmesten" omvatte niveaus "praktijk", "eenmaal volgens sensor", en "tweemaal volgens sensor". De factor "basisgift" omvatte niveaus "praktijk", "lage basisgift", en "dubbele basisgift". Tijdens de uitvoering van de proef werd op een aantal punten afgeweken van de proefopzet. De uiteindelijk gerealiseerde behandelingen zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4. Gerealiseerde behandelingen in de proef te Vierhuizen.

|                                    | Standaard basisgift                                                                | Venster:<br>Lage basisgift                                                         | Venster:<br>Dubbele basisgift                                                        |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Strook 1:<br>Praktijk              | VH10:<br>75 kg N basis<br>9 kg N op 15 juni<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 96 kg N | VH11:<br>12 kg N basis<br>9 kg N op 15 juni<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 33 kg N | VH12:<br>130 kg N basis<br>9 kg N op 15 juni<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 151 kg N |
| Strook 2:<br>Tweemaal<br>bijmesten | VH20:<br>42 kg N basis<br>9 kg N op 15 juni<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 63 kg N | VH21:<br>12 kg N basis<br>9 kg N op 15 juni<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 33 kg N | VH22:<br>106 kg N basis<br>9 kg N op 15 juni<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 127 kg N |
| Strook 3:<br>Eénmaal<br>bijmesten  | VH30:<br>42 kg N basis<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 54 kg N                      | VH31:<br>12 kg N basis<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 24 kg N                      | VH32:<br>106 kg N basis<br>12 kg N op 7 juli<br>Totaal 118 kg N                      |

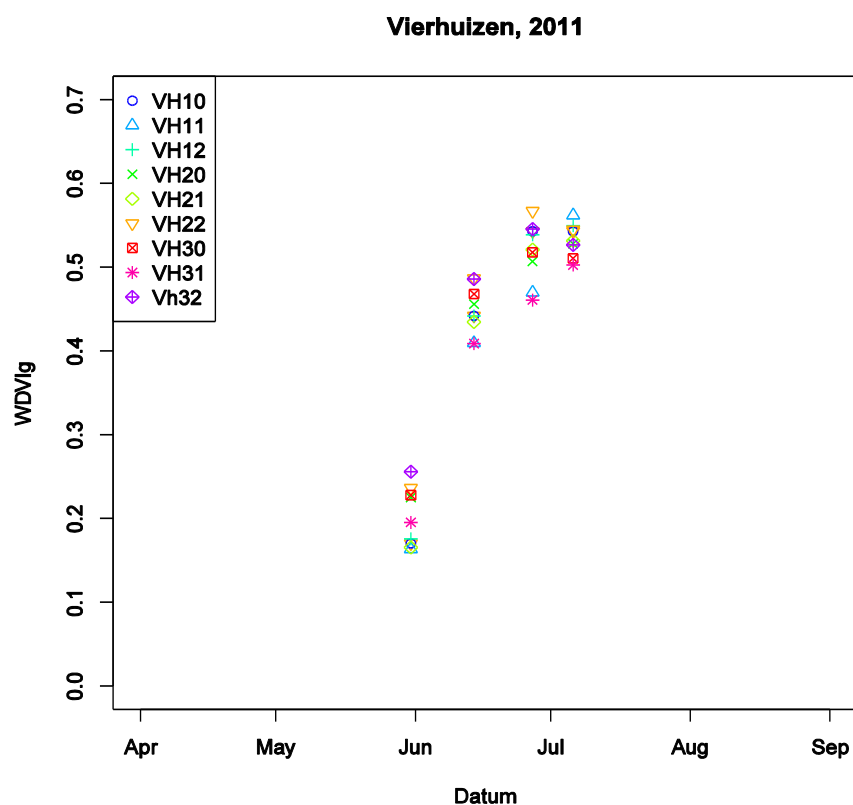
Het moment waarop de eerste N-bijmestgift plaatsvond werd door de teler tijdens het seizoen bepaald. Op 15 juni was het zover. De streefwaarde voor de N-inhoud werd op dat moment in overleg met de teler vastgesteld. De teler oordeelde dat het gewas dat de dubbele hoeveelheid basisbemesting had gekregen er goed uitzag en daarom werd de gemeten N-inhoud van dat gewas als streefwaarde genomen voor de behandelingen waarin volgens de sensor bijmest zou worden. De streefwaarde werd vastgesteld op 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Hieruit volgde een bijmestgift van 9 kg N ha<sup>-1</sup>.

Het moment van de tweede bijmestgift werd bepaald op 7 juli. Op dit moment werd de door Stelsel-Booij (Van Evert et al., 2012b) gegeven streefwaarde van 200 kg N ha<sup>-1</sup> aangehouden. Hieruit volgde een bijmestgift van 12 kg N ha<sup>-1</sup>.

#### 4.1.2 Resultaat

Het verloop van de WDWI is te zien in Figuur 16. Knolopbrengsten zijn vermeld in Tabel 5. De behandelingen waarin bijmest werd volgens de sensor gaven een iets hogere opbrengst dan de praktijk van de teler.

Tegelijkertijd werd er minder N toegediend dan volgens de praktijk van de teler.



Figuur 16. Verloop van de WDVl in de proef te Vierhuizen.

Tabel 5. Opbrengsten in de proef te Vierhuizen.

| Code | Behandeling |           | N kg ha <sup>-1</sup> | Totaal | Opbrengst (kg.ha <sup>-1</sup> ) |          |        |
|------|-------------|-----------|-----------------------|--------|----------------------------------|----------|--------|
|      | Bijmesten   | Basisgift |                       |        | < 30 mm                          | 30-50 mm | >50 mm |
| VH10 | Praktijk    | Standaard | 96                    | 44692  | 1539                             | 41100    | 2052   |
| VH11 |             | Laag      | 33                    | 42221  | 1310                             | 38735    | 2175   |
| VH12 |             | Dubbel    | 151                   | 44310  | 1751                             | 41778    | 781    |
| VH20 | Eénmaal     | Standaard | 63                    | 45781  | 1159                             | 42514    | 2108   |
| VH21 |             | Laag      | 33                    | 46289  | 953                              | 44708    | 627    |
| VH22 |             | Dubbel    | 127                   | 49025  | 992                              | 44800    | 3232   |
| VH30 | Tweemaal    | Standaard | 54                    | 46555  | 1809                             | 43556    | 1190   |
| VH31 |             | Laag      | 24                    | 46941  | 1944                             | 44444    | 552    |
| Vh32 |             | Dubbel    | 118                   | 48801  | 1845                             | 42673    | 4284   |

## Bodem Stikstof

Tabel 6. N-min in Bodem kg/ha op 15 juni en 7 juli 2011 van het praktijkveld in Vierhuizen.

| Behandeling |          |           | 15 juni                 |                          |                         | 7 juli                  |                          |                         |
|-------------|----------|-----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Code        | Bijmest  | Basisgift | NO <sub>3</sub><br>0-30 | NO <sub>3</sub><br>30-60 | NO <sub>3</sub><br>0-60 | NO <sub>3</sub><br>0-30 | NO <sub>3</sub><br>30-60 | NO <sub>3</sub><br>0-60 |
| VH10        | Praktijk | 75 kg/ha  | 22.1                    | 23.2                     | 45.3                    | 18.3                    | 22.8                     | 41.1                    |
| VH11        |          | Laag      | 10.7                    | 23.1                     | 33.8                    | 9.6                     | 13.9                     | 23.5                    |
| VH12        |          | Dubbel    | 35.9                    | 23.2                     | 49.1                    | 17.0                    | 17.4                     | 34.4                    |
| VH20        | Eénmaal  | 50 kg/ha  | 12.3                    | 23.4                     | 35.7                    | 16.1                    | 14.3                     | 30.4                    |
| VH21        |          | Laag      | 8.4                     | 22.6                     | 31.0                    | 8.4                     | 11.8                     | 20.2                    |
| VH22        |          | Dubbel    | 19.2                    | 32.1                     | 51.3                    | 11.6                    | 18.7                     | 30.3                    |

Op 15 juni en 7 juli werden tevens bodemonsters gestoken tot 60 cm voor de N-min bepaling. In Tabel 6 zijn de resultaten van de analyse weergegeven. Gevolgen van de verschillen in N-basis bemesting komen uit de resultaten van 15 juni naar voren. De vensters met lage en dubbele bemesting wijken volgens de verwachting af van de strook.

De bijmestgift van 9 kg/ha op 15 juni leidde ertoe dat het N-mingehalte op de strook en het venster met hoge basisgift op niveau bleven, terwijl op het lage N-venster de N-min voorraad lager was.

### 4.1.3 Conclusie

Bijmesten volgens de sensor heeft een hogere opbrengst tot gevolg gehad dan bijmesten volgens een vast systeem. Dit geldt voor alle niveaus van basisgift. Opvallend is b.v. dat een dubbele basisgift + vooraf bepaalde hoeveelheid bijmesten leidt tot een gift van 151 kg N per ha en een opbrengst van 44.3 ton per ha. Een dubbele basisgift + bijmesten volgens sensor leidt tot een gift van 127 kg N ha<sup>-1</sup> en een opbrengst van 49.0 t ha<sup>-1</sup>. Het bijmeststelsel gebruikt dus minder N en leidt tot een hogere opbrengst. Wat betreft de resultaten van N-min monitoring van de bodem: de bijmestgiftten werden in vloeibare vorm toegediend en waren laag. Een directe invloed van de gift op de bodemvoorraad N is dan ook niet de verwachten. Wel is er effect geweest op de onttrekking van N door het gewas aan de bodem. Opvallend is ook dat een lage basisgift + vooraf bepaalde hoeveelheid bijmesten leidt tot een gift van 33 kg N per ha en een opbrengst van 42.2 ton per ha, terwijl een lage basisgift + bijmesten volgens sensor leidt tot een gift van 33 kg N ha<sup>-1</sup> en een opbrengst van 46.2 ton per ha. We kunnen dus concluderen dat bijmesten nodig was, dat bijmesten op basis van een sensor er in slaagt om het effect van een lage basisgift weg te werken, en dat bijmesten leidt tot zowel besparing van N als tot een hogere opbrengst.

## 4.2 Valthermond

In deze proef met zetmeelaardappelen werd Systeem-Booij vergeleken met de telerspraktijk.

### 4.2.1 Materiaal en methoden

Deze proef werd uitgevoerd op perceel 70A van proefboerderij 't Kompas te Valthermond. De voorvrucht was gerst. Aardappelen van het ras Merano werden gepoot op 5 mei 2011. De proef omvatte twee factoren. De eerste factor was de hoogte van de basisgift, met niveaus standaard, 0, en dubbele hoeveelheid. De tweede factor was bijmesten, met niveaus praktijk en volgens de sensor. Een overzicht van de behandelingen wordt gegeven in



Tabel 7. De metingen van de gewasreflectie werden uitgevoerd met een CropScan.

Tabel 7. **Behandelingen in de proef te Valthermond.**

| <b>Behandeling</b> | <b>Basisgift</b>  | <b>Bijmesten</b> |
|--------------------|-------------------|------------------|
| A                  | Standaard         | Praktijk         |
| AC                 | Geen basisgift    | Praktijk         |
| AD                 | Dubbele basisgift | Praktijk         |
| B                  | Standaard         | Bijmesten sensor |
| BC                 | Geen basisgift    | Bijmesten sensor |
| BD                 | Dubbele basisgift | Bijmesten sensor |

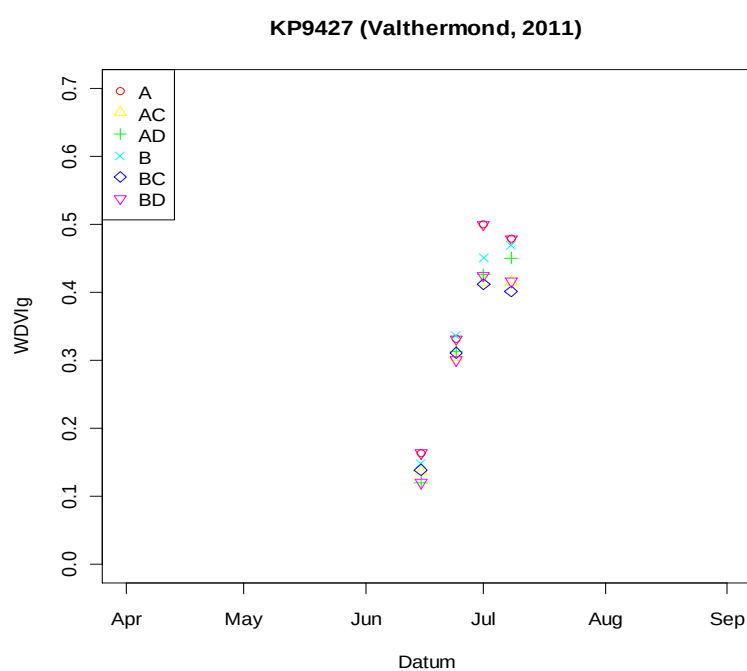
#### 4.2.2 Resultaat

De ontwikkeling van de vegetatie-index WDVl wordt gegeven in Figuur 17. Op basis van deze metingen werden bijmestadviezen bepaald, waarbij een streefwaarde van 175 kg N ha<sup>-1</sup> werd aangehouden (Van Evert et al., 2011). De gerealiseerde N giften worden gegeven in Tabel 8. Opbrengsten zijn gegeven in

Tabel 9.

Tabel 8. **Gerealiseerde bemesting in de proef te Valthermond.**

| Behandeling | Basisgift         | Bijmesten        | Basisgift | Bijmest |
|-------------|-------------------|------------------|-----------|---------|
| A           | Standaard         | Praktijk         | 120       | 60      |
| AC          | Geen basisgift    |                  | 120       | 0       |
| AD          | Dubbele basisgift |                  | 240       | 0       |
| B           | Standaard         | Bijmesten sensor | 120       | 45      |
| BC          | Geen basisgift    |                  | 120       | 0       |
| BD          | Dubbele basisgift |                  | 240       | 75      |



Figuur 17. **Verloop van de WDV in de proef te Valthermond.**

Tabel 9. **Opbrengsten in de proef te Valthermond.**

| Behandeling |                  |                   | N   | Opbrengst (t ha <sup>-1</sup> ) | OWG | UBG (t ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------|------------------|-------------------|-----|---------------------------------|-----|---------------------------|
| A           | Praktijk         | Standaard         | 180 | 46.6                            | 530 | 66.8                      |
| AC          | Praktijk         | Geen basisgift    | 120 | 49.7                            | 557 | 75.6                      |
| AD          | Praktijk         | Dubbele basisgift | 240 | 51.0                            | 522 | 71.7                      |
| B           | Bijmesten sensor | Standaard         | 165 | 49.1                            | 516 | 68.0                      |
| BC          | Bijmesten sensor | Geen basisgift    | 120 | 48.0                            | 537 | 69.8                      |
| BD          | Bijmesten sensor | Dubbele basisgift | 315 | 45.7                            | 523 | 64.0                      |

#### Bodem Stikstof

In Tabel 10 staan de resultaten van de N-min bepaling in de bodem 0-30 cm en 30-60 cm. Er waren zeer hoge N-hoeveelheden op beide tijdstippen. Door de droge omstandigheden wellicht minder goede opname in het gewas waardoor de loofontwikkeling achterbleef en het advies op basis van de sensor meting hoog was.

Op basis van N monitoring werd een advies gegeven geen N bij te bemesten. Alleen op de vensters met lage N giften KP11 en KP 21 was het advies op 12 juli respectievelijk 20 en 15 kg/ha bij te bemesten ten opzichte van een bijmestadvies op basis van de sensor van 45 kg N/ha.

Tabel 10. **N-min in Bodem kg/ha Valthermond in 2011.**

| Behandeling |          |                | 27 juni    |             |            | 12 juli    |             |            |
|-------------|----------|----------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|
| Code        | Bijmest  | N-gift (kg/ha) | N-min 0-30 | N-min 30-60 | N-min 0-60 | N-min 0-30 | N-min 30-60 | N-min 0-60 |
| KP10        | Praktijk | 180            | 139.8      | 359.9       | 499.7      | 107.7      | 96.4        | 204.1      |
| KP11        |          | 120            | 59.2       | 87.5        | 147.7      | 45.4       | 72.8        | 118.2      |
| KP12        |          | 240            | 319.5      | 307.1       | 626.6      | 170.1      | 150.3       | 320.4      |
| KP20        | Sensor   | 165            | 177.2      | 233.4       | 410.6      | 112.2      | 110.3       | 222.5      |
| KP21        |          | 120            | 97.4       | 111.8       | 209.2      | 65.1       | 99.7        | 164.8      |
| KP22        |          | 315            | 527.4      | 267.0       | 794.4      | 210.0      | 149.6       | 359.6      |

#### 4.2.3 Conclusie

In de behandelingen waar de standaard basisgift werd gegeven, waren de opbrengst en het uitbetalingsgewicht in de praktijkstrook iets lager dan in de strook waarin op basis van de sensor werd bijbemest. In de praktijkstrook werd in totaal 180 kg N per ha bemest terwijl in de sensor-strook 165 kg N ha<sup>-1</sup> werd bemest.

Een dubbele basisgift leidde in the praktijkstrook tot 240 kg N per ha en een opbrengst van 51.0 ton per ha, terwijl in de bijmest-strook 315 kg N per ha werd gegeven en de opbrengst niet meer dan 45.7 ton per ha was. Gezien de hoge N-mingehalten in de bodem en de hoge nitraatgehalten van de bladsteeltjes was bijbemesting niet nodig. Gewassensing resulteerde tot een N bijmestadvies. Dit advies was nog altijd lager dan de praktijkgift op basis van de bemestingsrichtlijn. Met gewassensing werd 15 kg N per ha bespaard terwijl maximaal 60 kg N per ha bespaard had kunnen worden. De N-bijmest objecten resulteerden in een iets lager OWG. Het niveau van de OWG was echter op alle velden hoog.

### 4.3 Lelystad Sensispray proef

In deze proef werden consumptie aardappelen in Flevoland geteeld op het proefbedrijf van PPO-AGV. Het Systeem-Booij werd toegepast, met dien verstande dat de Greenseekers van het SensiSpray systeem zijn gebruikt i.p.v. een CropScan, en dat de bijmestgift in vloeibare vorm werd gegeven. Bovendien moest de bijgift in tweemaal gegeven worden om bladverbranding te voorkomen. Een volledige beschrijving van de

proef is gegeven door (Blok and Kempenaar, 2011).

#### 4.3.1 Materiaal en methoden

In deze strokenproef is de basisgift in korrelvorm toegediend. Bijmest stikstof is zowel in vloeibare vorm (NTS, variabele dosering) als korrelvorm (KAS, vaste dosering) toegediend aan het gewas. De eerste bijmestgift vond plaats op 6 juli 2011, de tweede (alleen NTS) op 27 juli 2011. De toegediende hoeveelheden staan vermeld in Tabel 11.

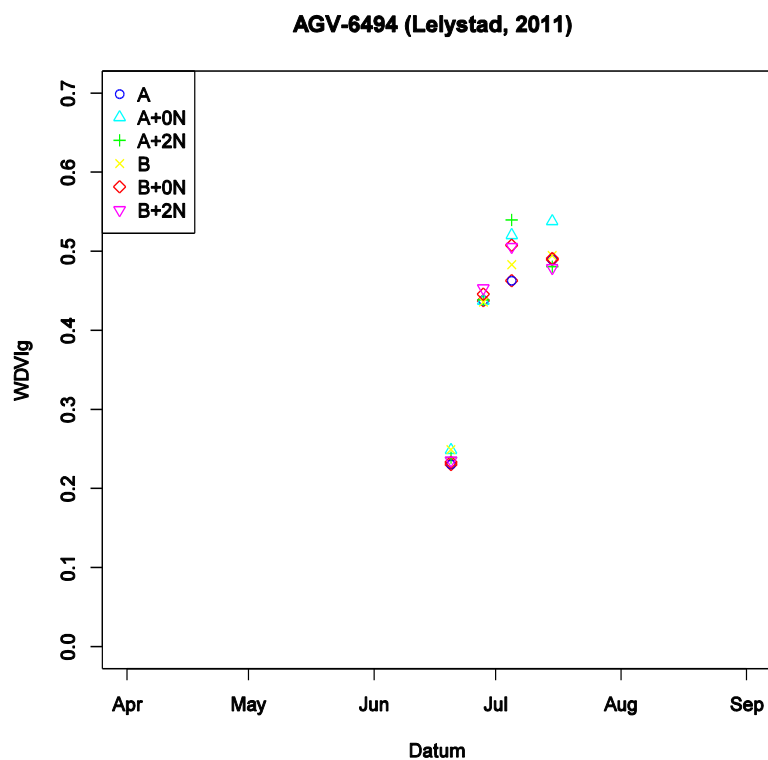
Tabel 11. **Behandelingen in een stroken experiment met sensorgestuurde N-bijbemesting in 2011 op PPO proefbedrijf te Lelystad.**

| Object       | N-bemesting (kg N ha <sup>-1</sup> ) |
|--------------|--------------------------------------|
| Gangbaar 0   | 140 + 0                              |
| Gangbaar 1   | 140 + 70                             |
| Gangbaar 2   | 140 + 140                            |
| SensiSpray 0 | 140 + 0                              |
| SensiSpray 1 | 140 + 38.4 + 11.1                    |
| SensiSpray 2 | 140 + 110                            |

#### 4.3.2 Resultaat

Het verloop van de WDV in deze proef is weergegeven in Figuur 18. De knolopbrengsten staan in

Tabel 12. De gerealiseerde bijmestadviezen worden in detail weergegeven in Tabel 13. De resultaten van de bepalingen van  $N_{\min}$  in de bodem tenslotte staan in Tabel 14.



Figuur 18. Het verloop van de WDVl in de proef te Lelystad.

Tabel 12. **Opbrengsten in een stroken experiment met sensorgestuurde N-bijbemesting in 2011 op PPO proefbedrijf te Lelystad.**

| Object       | N-bemesting (kg N ha <sup>-1</sup> ) | Opbrengst (t ha <sup>-1</sup> ) |
|--------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Gangbaar 0   | 140 + 0                              | 53.45 a                         |
| Gangbaar 1   | 140 + 70                             | 58.47 ab                        |
| Gangbaar 2   | 140 + 140                            | 57.13 ab                        |
| SensiSpray 0 | 140 + 0                              | 54.37 ab                        |
| SensiSpray 1 | 140 + 38.4 + 11.1                    | 56.43 ab                        |
| SensiSpray 2 | 140 + 110                            | 60.36 b                         |

## Adviezen op basis van aardappelmonitoring

Tabel 13. **N bijmestadviezen op basis van aardappelmonitoring.**

| Object       | N bemesting       | Code    | 27-jun | 4-jul | 10-jul | 19-jul |
|--------------|-------------------|---------|--------|-------|--------|--------|
| Gangbaar 0   | 140 + 0           | LE-10-1 | 0      | 60    | 15     | 0      |
| Gangbaar 1   | 140 + 70          | LE-11-1 | 0      | 60    | 15     | 0      |
| Gangbaar 2   | 140 + 140         | LE-12-1 | 0      | 50    | 0      | 0      |
| SensiSpray 0 | 140 + 0           | LE-20-1 | 0      | 70    | 0      | 0      |
| SensiSpray 1 | 140 + 38.4 + 11.1 | LE-21-1 | 0      | 60    | 0      | 0      |
| SensiSpray 2 | 140 + 110         | LE-22-1 | 0      | 60    | 20     | 0      |

## Bodem Stikstof

Tabel 14. **N-min in Bodem kg/ha Lelystad.**

| Behandeling |          |                 | 29 juni    |             |            | 18 juli    |             |            |
|-------------|----------|-----------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|
| Code        | Bijmest  | Basisgift Kg/ha | N-min 0-30 | N-min 30-60 | N-min 0-60 | N-min 0-30 | N-min 30-60 | N-min 0-60 |
| LE10        | Praktijk | 210             | 38.2       | 27.6        | 65.8       | 26.1       | 26.8        | 52.9       |
| LE11        |          | 140             | 28.5       | 20.9        | 49.4       | 18.5       | 14.6        | 33.1       |
| LE12        |          | 280             | 41.4       | 37.5        | 78.9       | 26.1       | 33.3        | 59.4       |
| LE20        | Sensor   | 189             | 26.4       | 21.6        | 48.0       | 16.4       | 16.7        | 33.1       |
| LE21        |          | 140             | 22.2       | 22.7        | 44.9       | 8.0        | 12.0        | 20.0       |
| LE22        |          | 250             | 37.9       | 35.4        | 73.3       | 28.5       | 31.5        | 60.0       |

De hoeveelheden N-min in de grond corresponderen met de basis bemesting. De voorraad op het venster met de laagste N-gift is op 19 juli zeer laag. De N-minvoorraad op de bijbemeste stroken blijft iets hoger. De verschillen in N bodemvoorraad tussen de praktijkstrook en de stroken met sensorgestuurde N bijbemesting bedragen ca. 20 kg N op beide tijdstippen.

Op basis van aardappel monitoring werd op 4 juli een advies gegeven ca. 60 kg N bij te bemesten. Op basis van de sensor werd ca. 50 kg N bijbemest. Het advies op basis van beide methoden kwam goed overeen maar was misschien op basis van de N-min voorraad aan de lage kant.

### 4.3.3 Conclusie

De verschillen in opbrengst waren nihil. Sensor-bijmesten was iets lager en had een iets lagere opbrengst (NS). De praktijkbijmestgift was 70 kg N per ha terwijl het bijmestadvies op basis van de bladsteeltjes 60 kg N bedroeg en op basis van de sensor 50 kg N per ha. De praktijkgift van 210 kg /ha gaf de beste opbrengst maar verschilde niet significant van de bijmestadviezen.

## 4.4 Biddinghuizen

In deze proef werden consumptieaardappelen geteeld op het bedrijf van Dhr. H. Zondag in Flevoland. Het niveau van bijbemesting werd bepaald door ALTIC aardappelmonitoring, waarna de bijgift werd verdeeld over het perceel op basis van de Yara N-Sensor.

### 4.4.1 Materiaal en methoden

Aardappelen van het ras Milva werden geteeld. De behandelingen zijn weergegeven in Tabel 15. Een volledige beschrijving van de proef wordt gegeven door (Vona and Malda, 2012). De N-basisgift bedroeg ca. 150 kg N, en er werd 54 kg N per ha bijbemest op het venster met overbemesting werd 250 kg N gegeven.

Tabel 15. **Behandelingen in de proef te Biddinghuizen.**

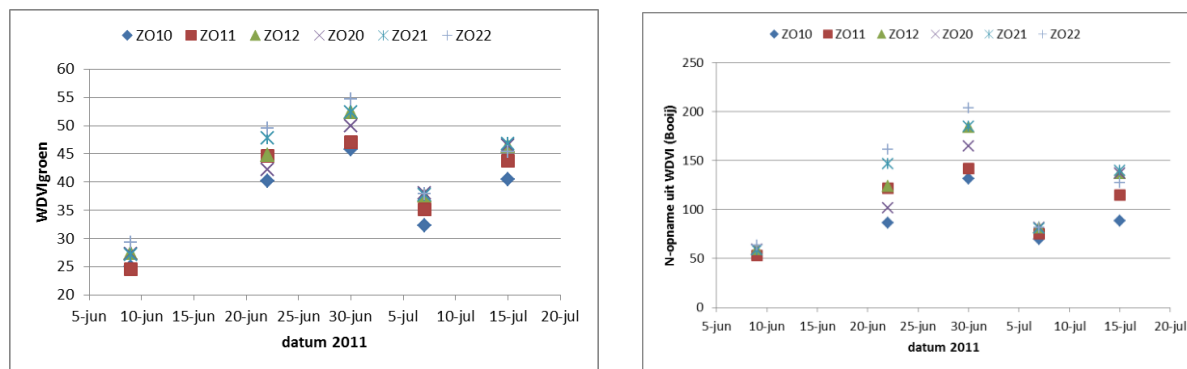
| veldnr | objectnaam       | Basis N-gift                                         | N-bijmestgift/datum     |
|--------|------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1      | Nul              | 0                                                    | 0                       |
| 2      | Extra N          | 10 kg N (APP)                                        | 2x 50 kg N 9 en 22 juni |
| 3      | Praktijk laag OS | 141 kg N Kemistar (17-24-1MgO - 12 SO <sub>3</sub> ) | 54 kg N op 17 juni      |
| 4      | Praktijk hoog OS |                                                      | 54 kg N op 17 juni      |
| 5      | Sensor Laag OS   |                                                      | 54 kg N op 20 juli      |
| 6      | Sensor hoog OS   |                                                      | 54 kg N op 20 juli      |

### 4.4.2 Resultaat

Het verloop van de WdVI is weergegeven in Figuur 19. Het advies voor de bijgift werd bepaald op 30 juni.

Door omstandigheden vond de toediening van de bijgift plaats op 20 juli.

De opbrengsten staan vermeld in Tabel 16. In de laag-OS plots was de opbrengst voor praktijk en N-Sensor gelijk. In de hoog-OS plots was de opbrengst voor praktijk hoger dan voor N-Sensor. Het beeld wordt overigens vertekend omdat er sprake was van ernstige aaltjes-aantasting (Vona and Malda, 2012).



Figuur 19. **Verloop van de WdVI en de uit de WdVI groen afgeleide N-opname volgens Booi in een stroken experiment te Biddinghuizen (bedrijf Zondag) in 2011.**

Tabel 16. **Opbrengsten in een stroken experiment met sensorgestuurde N-bijbemesting in aardappelen in 2011 te Biddinghuizen.**

|                    | opbrengst/ha (ton) |     |     |     |     |      |      |      |      |      |        |      |
|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|--------|------|
|                    |                    | 30- | 35- | 40- | 45- | 50-  | 55-  | 60-  | 65-  |      |        | 35-  |
| Plotnaam           | <30                | 35  | 40  | 45  | 50  | 55   | 60   | 65   | 70   | >70  | Totaal | 60   |
| 1 nul              | 0.4                | 0.5 | 1.1 | 3.1 | 4.7 | 16.6 | 11.3 | 11.5 | 8.5  | 4.7  | 62.4   | 36.8 |
| 2 extra N          | 0.5                | 0.6 | 1.0 | 3.7 | 6.1 | 15.4 | 13.2 | 13.2 | 12.0 | 11.8 | 77.4   | 39.4 |
| 3 Praktijk laag Os | 0.6                | 0.5 | 0.7 | 4.0 | 5.7 | 19.7 | 13.9 | 9.5  | 10.9 | 5.4  | 70.9   | 44.0 |
| 4 Praktijk hoog Os | 0.6                | 0.3 | 0.9 | 3.2 | 5.4 | 17.3 | 13.4 | 13.4 | 12.1 | 9.7  | 76.4   | 40.3 |
| 5 N-Sensor laag Os | 0.6                | 0.9 | 1.3 | 2.7 | 5.6 | 15.2 | 13.5 | 11.1 | 10.6 | 9.5  | 71.0   | 38.3 |
| 6 N-Sensor hoog Os | 0.3                | 0.5 | 1.1 | 3.8 | 4.2 | 16.3 | 14.0 | 9.9  | 11.8 | 9.0  | 70.8   | 39.3 |



Tabel 17. **N bijmestadviezen op basis van aardappelmonitoring in een stroken experiment in 2011 perceel Zondag te Biddinghuizen.**

| Object           | N bemesting | Code  | 9-jun | 22-jun | 30-jun | 7-jul |
|------------------|-------------|-------|-------|--------|--------|-------|
| nul              | 0           | ZO 10 | 0     | 30     | 75     | 75    |
| Extra N          | 150 + 100   | ZO 11 | 0     | 0      | 0      | 0     |
| Praktijk laag OS | 150 + 54    | ZO-12 | 0     | 0      | 0      | 0     |
| Praktijk hoog OS | 150 + 54    | ZO 20 | 0     | 0      | 0      | 0     |
| N sensor laag OS | 150 + 54    | ZO 21 | 0     | 0      | 50     | 50    |
| N sensor hoog OS | 150 + 54    | ZO 22 | 0     | 0      | 50     | 50    |

## Bodem Stikstof

Tabel 18. **N-min in Bodem kg/ha op een stroken experiment in 2011 perceel Zondag te Biddinghuizen.**

| Behandeling |          |                 | 22 juni    | 7 juli     |
|-------------|----------|-----------------|------------|------------|
| Code        | Bijmest  | Basisgift Kg/ha | N-min 0-60 | N-min 0-60 |
| ZO 10       | Praktijk | 0               | 71.1       | 32.9       |
| ZO11        |          | 250             | 265.2      | 279.7      |
| ZO 12       |          | 204             | 247.5      | 197.9      |
| ZO 20       |          | 204             | 178.3      | 131.2      |
| ZO 21       | Sensor   | 204             | 188.5      | 42.5       |
| ZO 22       |          | 204             | 156.2      | 62.4       |

De N-min gehalten in de grond (Tabel 18) vertonen een verrassend grote variatie bij eenzelfde basis bemesting. Pas op 20 juli werd er stikstof bijbemest. De objecten ZO12, 20, 21 en 22 hebben dezelfde basis bemesting gehad toch verschillende extremen van de N-minbepaling op 22 juni 90 kg/ha en op 7 juli 122 kg/ha. De velden ZO 20 en ZO 22 zijn aangemerkt als hoog organische stof en ZO 12 en 21 als laag organische stof. Op basis van deze indicatie kan worden verwacht dat de N-min gehalten op de hoog OS velden hoger is dan op de laag OS velden. Dit blijkt niet uit de resultaten van de monsteranalyse. De adviezen op basis van aardappelmonitoring op 30 juni en 7 juli corresponderen met de lage N-mingehalten op 7 juli.

### 4.4.3 Conclusie

Deze proef levert geen bruikbare aanwijzingen om de waarde van variabel bemesten op basis van de N-Sensor te staven (vgl. (Van Evert et al., 2011, pp. 84-87)).

## 4.5 Reusel

De proef werd uitgevoerd bij Van den Borne Aardappelen, Postelsedijk 15, te Reusel. Het doel van de proef was het vergelijken van Systeem-Booij (Van Evert et al., 2012b) met de praktijk van de teler. Die praktijk bestaat in dit geval uit een basisgift van dierlijke mest vóór poten, gevolgd door toediening van urean (0, 100, of 200 l ha<sup>-1</sup>, dit komt overeen met 0, 30, of 60 kg N ha<sup>-1</sup>) tijdens de onkruidbestrijding. Daarna wordt bijbemest met KAS, indien nodig tot 200 kg KAS ha<sup>-1</sup> (dus maximaal 54 kg N ha<sup>-1</sup>).

### 4.5.1 Materiaal en methoden

De proef werd aangelegd op het perceel aan de Postelse dijk "Tegenover de schuur" (Figuur 20). De voorvrucht was suikerbieten. Aardappelen van het ras Fontane werden gepoot op 10 april.

De proef werd uitgevoerd in parallel met een andere proef waarin verschillende hoeveelheden varkensdrijfmest via directe injectie werden toegediend vóór poten. De hoeveelheden waren 0, 1, 1.5 en 2 maal de standaard-hoeveelheid van 23 m<sup>3</sup>. Deze verschillende hoeveelheden drijfmest kwamen ook in de test van Systeem-Booij voor (Tabel 19)

Naast de teler-plots (B, D, F en H) en de Systeem-Booij plots (I, J, K en L) waren er ook plots (A, C, E, en G) waar bemesting uitgevoerd werd volgens de adviezen van TTW. De resultaten van deze laatste plots zijn betrouwbaar en worden in dit verslag buiten beschouwing gelaten.

Het standaardadvies voor Fontane is  $300 \text{ kg N ha}^{-1}$ . De voorvrucht op dit perceel was suikerbieten, waarvan het blad was ingewerkt, zodat een korting van  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  van toepassing is bij het berekenen van het bemestingsadvies.  $N_{\min}$  is niet gemeten en de standaardwaarde van  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  is aangehouden. Het advies wordt dan

$$\text{advies} = 300 - 1.8 \times 20 - 30 = 234 \text{ kg N ha}^{-1}$$

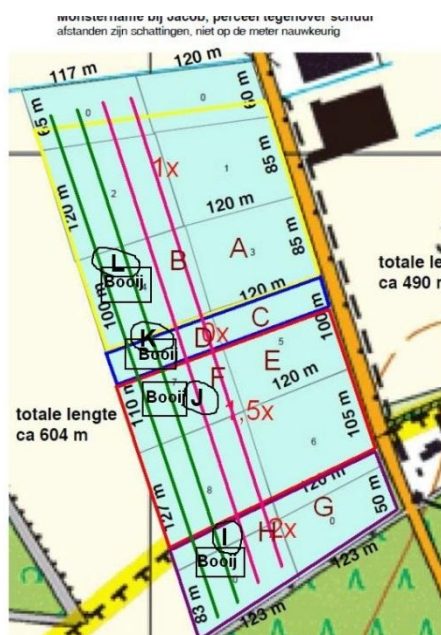
Volgens Systeem-Booij bedraagt de basisbemesting 67-75% van het bemestingsadvies volgens adviesbasis. De basisbemesting zou in dit geval dus moeten zijn:  $0.75 \times 234 = 175 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Aan het begin van de proef is  $23 \text{ m}^3$  varkensdrijfmest  $\text{ha}^{-1}$  toegediend met een gemeten gehalte van 7,875 gram N per kg ( $N_{\text{org}}$  en  $N_{\min}$  niet apart bepaald). Uitgaande van eenzelfde verdeling over  $N_{\text{org}}$  en  $N_{\min}$  als bij forfaitaire gehalten (Van Dijk and Van Geel, 2010), is de hoeveelheid werkzame N uit dierlijke mest =  $23 \times (4.6 \times 0.95 + 3.3 \times 0.35) = 127 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

In het object met  $23 \text{ m}^3$  varkensdrijfmest moet aan de basis nog  $175 - 127 = 48 \text{ kg N ha}^{-1}$  uit KAS bij worden gegeven. In het object met anderhalf maal zoveel dierlijke mest is  $1.5 \times 127 = 191 \text{ kg ha}^{-1}$  werkzame N, zodat er aan de basis geen kunstmest bij gegeven moet worden. Het object met tweemaal dierlijke mest krijgt  $2 \times 127 = 254 \text{ kg N ha}^{-1}$ , dat is al meer dan het volledige advies en er hoeft aan de basis geen kunstmest bij gegeven te worden.

Tabel 19. Behandelingen in de proef te Reusel.

| Behandeling | Varkensdrijfmest<br>( $\times 23 \text{ m}^3$ ) | Wie      |
|-------------|-------------------------------------------------|----------|
| A           | 1                                               | TTW      |
| B           | 1                                               | Vd Borne |
| C           | 0                                               | TTW      |
| D           | 0                                               | Vd Borne |
| E           | 1.5                                             | TTW      |
| F           | 1.5                                             | Vd Borne |
| G           | 2                                               | TTW      |
| H           | 2                                               | Vd Borne |
| I           | 2                                               | Booij    |
| J           | 1.5                                             | Booij    |
| K           | 0                                               | Booij    |
| L           | 1                                               | Booij    |



Figuur 20. Plattegrond van de proefopzet te Reusel.

## 4.5.2 Resultaat

Gewasreflectiemeting weergegeven in Figuur 21. De CropScan metingen op 15, 22 en 30 juni gaven aan dat de N opname minder dan 120 kg N ha<sup>-1</sup> bedroeg, waardoor het bijmestadvies meer dan 80 kg N ha<sup>-1</sup> zou zijn. In dit geval is er waarschijnlijk sprake van bijzondere omstandigheden en raadt het Booij-systeem aan volgens eigen inzicht te handelen (Van Evert et al., 2011). Het zou b.v. mogelijk zijn om alsnog uit te gaan van de adviesbasis en het kwart van het advies dat nog niet gegeven is, nu als bijmest te geven. In dat geval zou het bijmestadvies 234 - 175 = 60 kg N ha<sup>-1</sup> moeten zijn voor het object met 23 m<sup>3</sup> varkensdrijfmest; 234 - 191 = 43 kg N ha<sup>-1</sup> voor het object met anderhalf maal zoveel drijfmest; en geen stikstofbijmestgift voor het object met 46 m<sup>3</sup> drijfmest.

Opvallend bij deze proef is de dalende lijn in de metingen die veroorzaakt wordt door het inzakken van het gewas na een aantal zware onweersbuien die gepaard gingen met harde wind. De WDWI metingen van Lammert Kooistra van WUR-CGI lieten echter geen teruggang zien. Daarom is overwogen een bijmestadvies te baseren op deze metingen. Echter ook in dat geval zou er 100 kg N ha<sup>-1</sup> of meer moeten worden bijbemest.

In overleg met de teler is besloten 54 kg N ha<sup>-1</sup> (200 kg KAS ha<sup>-1</sup>) bij te mesten in de objecten I, K en L; en 27 kg N ha<sup>-1</sup> (50 kg KAS ha<sup>-1</sup>) in object J. Alle N giften staan vermeld in Tabel 21.

Opbrengsten staan vermeld in Tabel 22 en Figuur 23. Het jaar 2011 maakte hoge opbrengsten mogelijk. De praktijkopbrengsten waren in de meeste gevallen net iets lager dan die met Systeem-Booij. In de behandeling met 46 m<sup>3</sup> drijfmest presteerde het praktijksysteem beter dan Systeem-Booij, maar het veldje waar deze Booij behandeling op werd toegepast lag erg ongunstig vlak bij een hoge bommenrij. Het is mogelijk dat dit de reden is dat de opbrengst hier tegenviel.

Tabel 20. **Advies voor de bijbemesting die is uitgevoerd op 7 juli in de proef te Reusel.**

| Behandeling | drijfmest | PRI     |     |         |    |         |    |         |     | CGI  |   |
|-------------|-----------|---------|-----|---------|----|---------|----|---------|-----|------|---|
|             |           | 15 juni |     | 22 juni |    | 30 juni |    | 27 juni |     | WDVI | N |
|             |           | WDVI    | N   | WDVI    | N  | WDVI    | N  | WDVI    | N   |      |   |
| K           | 0         | 0.25    | 54  | 0.30    | 66 | 0.24    | 53 | 0.35    | 43  |      |   |
| L           | 1         | 0.44    | 113 | 0.41    | 92 | 0.36    | 78 | 0.41    | 90  |      |   |
| J           | 1.5       | 0.44    | 114 | 0.42    | 97 | 0.37    | 79 | 0.39    | 80  |      |   |
| I           | 2         | 0.45    | 123 | 0.41    | 90 | 0.37    | 80 | 0.43    | 105 |      |   |

| Behandeling | WDVI  |       |       |       | N opname (kg N ha <sup>-1</sup> ) |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|             | 06-15 | 06-22 | 06-30 | 07-11 | 06-15                             | 06-22 | 06-30 | 07-11 |
| I           | 0.45  | 0.41  | 0.37  | 0.38  | 123                               | 90    | 80    | 81    |
| J           | 0.44  | 0.42  | 0.37  | 0.38  | 114                               | 97    | 79    | 81    |
| K           | 0.25  | 0.3   | 0.24  | 0.28  | 54                                | 66    | 53    | 60    |
| L           | 0.44  | 0.41  | 0.36  | 0.35  | 113                               | 92    | 78    | 75    |

### 4.5.2.1 Vergelijking van de meetmethode van PRI met die van CGI

De CropScan wordt door PRI en door CGI op een verschillende manier gehanteerd. Door PRI wordt een CropScan meting uitgevoerd door verschillende metingen te doen met de sensor op 2 m. boven het gewas. De sensor wordt daarbij vanaf een vaste positie in een halve cirkel over het gewas naar de meetposities gezwenkt. Door CGI wordt een CropScan meting uitgevoerd door het instrument +/- 70 cm hoog boven het gewas te houden, recht boven de gewasrij. Boven één gewasrij worden verschillende metingen gedaan. De twee methoden lijken tot een systematisch verschil te leiden (Figuur 21). Dit is onderzocht met een serie metingen die op 11 juli bij Van den Borne zijn gedaan. Johan Steenhuizen van PRI heeft de vier veldje I, J, K. en L eerst op de PRI-manier gemeten, en daarna op de CGI-manier. In Figuur 22 is het resultaat weergegeven voor alle 8 banden van de PRI CropScan. Het is duidelijk dat de metingen volgens de PRI-methode systematisch lager uitvallen. Dit is niet verwonderlijk, want de PRI-methode probeert over het hele veld te middelen, terwijl de CGI-methode alleen recht boven de rug kijkt waar de biomassa zich concentreert.

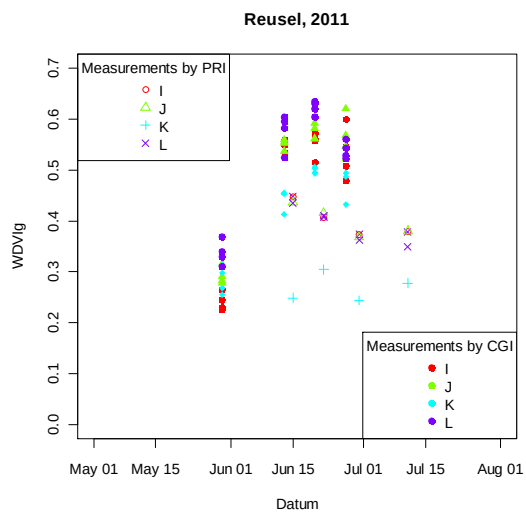
Tabel 21. **Gerealiseerde stikstof bemesting in de proef te Reusel in 2011.**

| behandeling | Basis bemesting |         |       |         |        | N bijbemesting |                 |              |                 |                 |                 |              |                 | Totaal N |
|-------------|-----------------|---------|-------|---------|--------|----------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|----------|
|             | VDM             |         | Urean |         | Tot. N | 18 mei         |                 | 21 juni      |                 | 7 juli          |                 | 20 juli      |                 |          |
|             | Ton/ha          | N Kg/ha | l/ha  | N Kg/ha |        | Adv. N kg/ha   | N als KAS Kg/ha | Adv. N kg/ha | N als KAS Kg/ha | Adv. N kg/ha    | N als KAS Kg/ha | Adv. N kg/ha | N als KAS Kg/ha |          |
| A           | 23              | 127     | 82    | 38      | 165    |                | 0               |              | 0               |                 | 0               |              | 0               | 165      |
| B           | 23              | 127     | 82    | 38      | 165    |                | 0               | 15           | 13,5            |                 | 0               | 15           | 13,5            | 192      |
| L1          | 23              | 127     | 82    | 38      | 165    |                | 54              |              | 0               | 59              | 54              |              | 0               | 273      |
| C           | 0               | 0       | 82    | 38      | 38     |                | 0               |              | 0               |                 | 0               |              | 0               | 38       |
| D           | 0               | 0       | 82    | 38      | 38     |                | 0               | 50           | 54              |                 | 0               | 50           | 54              | 146      |
| K2          | 0               | 0       | 82    | 38      | 38     | 48             | 54              |              | 0               | 0               | 54              |              | 0               | 194      |
| E           | 34              | 191     | 82    | 38      | 229    | 0              | 0               |              | 0               |                 | 0               |              | 0               | 229      |
| F           | 34              | 191     | 82    | 38      | 229    | 0              | 0               |              | 0               |                 | 0               |              | 0               | 229      |
| J3          | 34              | 191     | 82    | 38      | 229    | 0              | 0               |              | 0               | 28              | 27              |              | 0               | 256      |
| G           | 46              | 254     | 82    | 38      | 292    | 0              | 0               |              | 0               |                 | 0               |              | 0               | 292      |
| H           | 46              | 254     | 82    | 38      | 292    | 0              | 0               |              | 0               |                 | 0               |              | 0               | 292      |
| I4          | 46              | 254     | 82    | 38      | 292    | 0              | 0               |              | 0               | 49 <sup>1</sup> | 54 <sup>1</sup> |              | 0               | 346      |

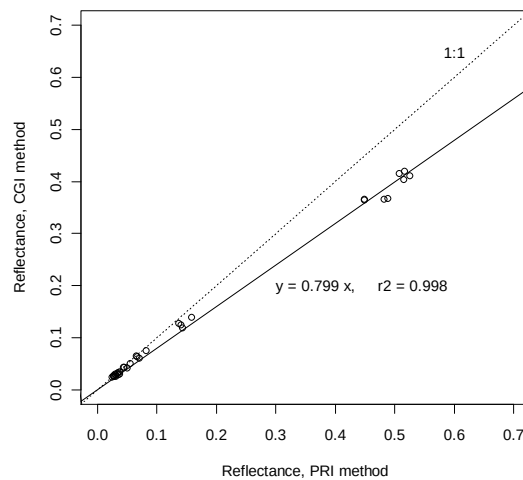
N gehalte meststoffen: Varkensdrijfmest 0,78 %; Urean 38%; KAS 27%

<sup>1</sup> Er bestaat onzekerheid of deze gift heeft plaatsgevondenTabel 22. **Opbrengsten in de proef te Reusel.**

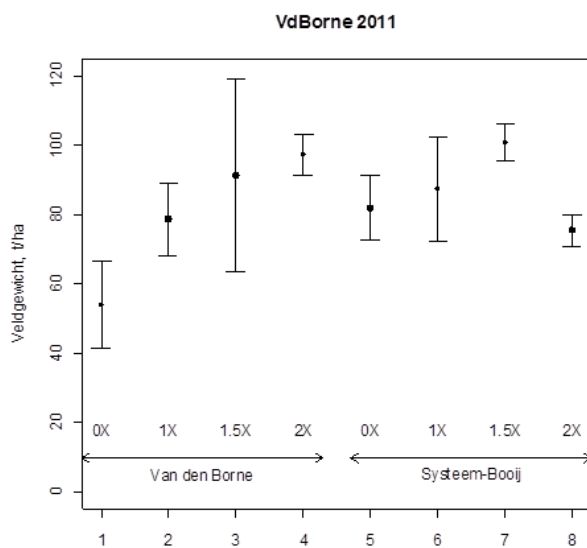
| Behandeling | Systeem  | Basisgift | Kg N/ha                | Opbrengst (ton/ ha) | Opbrengst > 35 mm (ton/ha) | OWG |
|-------------|----------|-----------|------------------------|---------------------|----------------------------|-----|
| C           | praktijk | 0X        | 38                     | 54.0                | 52.5                       | 391 |
| A           | praktijk | 1X        | 165                    | 78.6                | 76.9                       | 365 |
| E           | praktijk | 1.5X      | 229                    | 91.4                | 90.1                       | 344 |
| G           | praktijk | 2X        | 292                    | 97.3                | 96.2                       | 340 |
| K           | Booij    | 0X        | 194                    | 82.0                | 81.3                       | 393 |
| L           | Booij    | 1X        | 273                    | 87.3                | 86.8                       | 352 |
| J           | Booij    | 1.5X      | 265                    | 100.9               | 99.6                       | 354 |
| I           | Booij    | 2X        | 346 (292) <sup>1</sup> | 75.5                | 75.0                       | 351 |



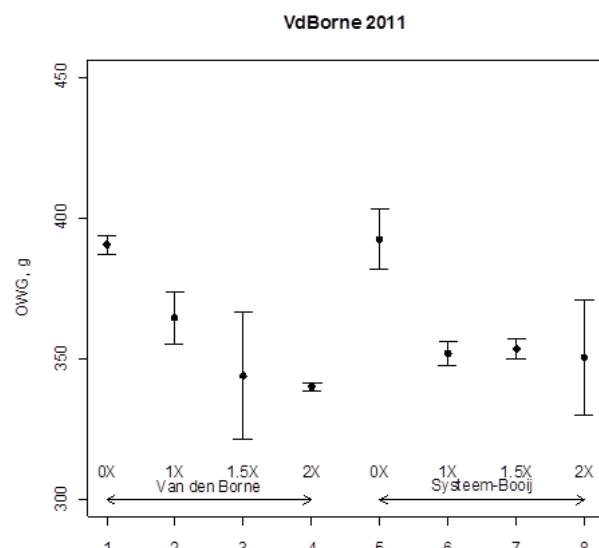
Figuur 21. Het verloop van de WDV in de tijd in het experiment te Reusel, gemeten met twee methoden.



Figuur 22. Vergelijking van PRI-methode en de CGI-methode om de gewasreflectie te meten.



Figuur 23. Knolopbrengst. Verticale lijnen geven één standaardafwijking naar boven en naar beneden weer.



Figuur 24. Onderwater-gewicht (OWG). Verticale lijnen geven één standaardafwijking naar boven en naar beneden weer.

### 4.5.3 Conclusie

Het jaar 2011 maakte hoge opbrengsten mogelijk. Systeem-Booij detecteerde correct dat er nog een grote behoefte was aan N. Reflectiemetingen gaven aan dat er ongeveer 100 kg N bijbemest zou moeten worden. Bij een dermate hoge bijgift adviseert het protocol om niet alleen op de metingen af te gaan, maar naar inzicht van de teler te handelen. In dit geval is besloten maximaal 54 kg bij te mesten, waardoor de totale gift in de buurt van de adviesgift zou komen. Pas aan het eind van het seizoen bleek dat alle objecten ook nog 38 kg N uit urean hadden gekregen. De totale giften kwamen daarmee boven de adviesgift uit - gezien de goede groeiomstandigheden was dit overigens achteraf gezien wel terecht.

## 4.6 Discussie naar aanleiding van de in dit hoofdstuk beschreven proeven

In de proef te Vierhuizen (pootgoed) werd bijbemest aan de hand van visuele inschatting door de teler en een referentie venster. Er werd bij de vroege tijdstippen een streefwaarde van 150 kg N ha<sup>-1</sup> gebruikt voor de pootaardappelen. Na knolzetting werd een streefwaarde van 200 kg N ha<sup>-1</sup> gebruikt. Hoewel dit getal voor consumptieaardappelen is bepaald en getest. Een venster met ruim voldoende N bleek een goede methode te zijn om een streefwaarde voor de N opname te bepalen – dit is ook vastgesteld door (Uenk et al., 2003) en (Klein Swormink, 1999). In de proef te Valthermond resulteerde bijmesten aan de hand van een sensor in een iets lagere N gift en een iets hogere opbrengst. Ook hier werkte het systeem goed. In de proef te Reusel gaf het systeem-Booij in het algemeen iets hogere opbrengsten dan de praktijk. Er werd in deze proef geen N bespaard omdat het gewas door de buitengewoon goede groeiomstandigheden meer N nodig had dan het standaard advies. In de proef te Lelystad waren er nauwelijks verschillen in opbrengst. Bijmesten aan de hand van de sensor resulteerde in een iets lager gebruik van N, maar ook in een iets lagere opbrengst (niet-significant). De resultaten van de proef te Biddinghuizen, tenslotte, zijn niet eenduidig, ten eerste omdat er sprake was van aaltjes aantasting en ten tweede omdat de bijgift pas 3 weken na datum van advies toegediend werd. Voor zover de resultaten geïnterpreteerd kunnen worden, geeft deze proef geen bruikbare data om de waarde van variabel bemesten te staven (vgl. (Van Evert et al., 2011, pp. 84-87)).

Laat bijmesten lijkt geen probleem te zijn (mits de basisgift voldoende groot is om aan de behoefte van het gewas te voldoen tot het moment van bijmesten). Er is wel aandacht nodig voor de wijze waarop de gewasreflectiemetingen worden verricht. De meetmethode heeft invloed op het resultaat. Het gewas kan inzakken door wind en regen, hetgeen kan resulteren in een te lage schatting van de N opname.

## 4.7 Literatuur

- Blok P., Kempenaar C. (2011) Proefresultaten Sensispray 2011.
- Clevers J.G.P.W. (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.
- Klein Swormink B.W. (1999) Koppeling van fertigatie en 'stikstofstatusmonitoring' op basis van reflectiemetingen in aardappelen
- Monteith J.L., Unsworth M.H. (1990) *Principles of environmental physics*. 2nd ed. Edward Arnold, London.
- Reyniers M., Vrindts E. (2006) Measuring wheat nitrogen status from space and ground-based platform. *International Journal of Remote Sensing* 27:549-567.
- Schans D.A.v.d., Slabbekoorn H., Blok D. (2012) Sensorgestuurd variabel N-bijmesten van consumptieaardappelen 2011: proef RH11.24 uitgevoerd op Rusthoeve, Colijnsplaat. PPO Rapport nr. 468. PPO, Lelystad.
- Swain K.C., Thomson S.J., Jayasuriya H.P.W. (2010) ADOPTION OF AN UNMANNED HELICOPTER FOR LOW-ALTITUDE REMOTE SENSING TO ESTIMATE YIELD AND TOTAL BIOMASS OF A RICE CROP. *Transactions of the Asabe* 53:21-27.
- Uenk D., Grashoff C., Booij R. (2003) Stikstofbijmesting op aardappelen op basis van omgekeerde N-vensters in combinatie met CropScan : jaarrapport 2002, Plant Research International Nota 266.
- Van der Schans D., Blok P., Kramer R. (2011) Implementatie van Sensorgestuurde Stikstof-bijbemesting in pootaardappel : een onderzoek onder praktijkomstandigheden bij A. Claassen te Vierhuizen

- Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten, Lelystad.
- Van Dijk W., Van Geel W. (2010) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen = Fertilizer recommendations for arable crops. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. , Lelystad.
- Van Evert F.K., Van der Voet P., Van Valkengoed E., Kooistra L., Kempenaar C. (2012a) Satellite-based herbicide rate recommendation for potato haulm killing. Accepted by European Journal of Agronomy. DOI: 10.1016/j.eja.2012.05.004.
- Van Evert F.K., Van der Schans D.A., Malda J.T., Van den Berg W., Van Geel W.C.A., Jukema J.N. (2011) Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen: Integratie van sensormetingen in een N-bijmeststelsel. PPO Rapport 423. WUR-PPO, Lelystad.
- Van Evert F.K., Booij R., Jukema J.N., Ten Berge H.F.M., Uenk D., Meurs E.J.J., Van Geel W.C.A., Wijnholds K.H., Slabbekoorn H. (2012b) Using crop reflectance to determine sidedress N rate in potato saves N and maintains yield. European Journal of Agronomy 43:58-67. DOI: 10.1016/j.eja.2012.05.005.
- Vona V., Malda J.T. (2012) Praktijkimplementatie Yara N-Sensor.
- Vos J. (2009) Nitrogen Responses and Nitrogen Management in Potato. Potato Research 52:305-317.





## 5 N-bijmestadvies ook met Remote sensing beelden

In Nederland zijn remote sensing beelden laagdrempelig beschikbaar via Mijnakker. Deze beelden geven evenals near sensing een indicatie van de verschillen in gewasgroei binnen percelen.

ALTIC heeft de mogelijkheid om satellietbeelden via Mijnakker te downloaden en bruikbaar te maken voor datavergelijking met de overige metingen die in het veld zijn uitgevoerd. Aan de hand van de resultaten kunnen uitspraken worden gedaan in hoeverre satellietbeelden van Mijnakker te relateren zijn aan metingen van de praktijksensoren. In de literatuur zijn voorbeelden beschikbaar van sterke correlatie tussen een vegetatie-index gemeten met satelliet en dicht bij de grond, zowel voor NDVI (Reyniers and Vrindts, 2006; Swain et al., 2010) als voor WDV (Van Evert et al., 2012a). Vanwege de gratis beschikbaarheid en de mogelijkheden van ALTIC voor het downloaden van de kaarten, kan de vergelijking als eenvoudige deskstudie worden uitgevoerd.

### 5.1 Aanleiding

Doordat satellietbeelden een laagdrempelige bron van sensorinformatie over gewassen vormen is er veel aandacht voor. De via Mijnakker gepresenteerde data wordt gepresenteerd in diverse parameters, waaronder NDVI. Een belangrijke vraag die bij de eindgebruikers (landbouw in de breedste zin van het woord) leeft, is wat deze gegevens zeggen en in hoeverre dit meerwaarde oplevert voor hun bedrijfsvoering. Tevens zijn er vragen of satellietbeelden van Mijnakker te relateren zijn aan metingen van de praktijksensoren. Uitwisselbaarheid van sensorinformatie afkomstig van verschillende systemen wordt in de toekomst een heel belangrijke factor.

### 5.2 Materiaal en methode

De percelen die voor het bedrijfsoverstijgende deel van PPL worden gevolgd zijn ingetekend op Mijnakker.nl en door ALTIC vervolgens voor data-analyse gebruikt. De parallele reflectiemetingen zijn op alle proeven uitgevoerd met een CropScan sensor. Tevens zijn destructieve stikstofbepalingen in het gewas uitgevoerd door ALTIC, op basis waarvan de N-opname door het gewas is berekend.

In het onderzoek is de relatie tussen de uitgevoerde metingen met CropScan, destructieve gewasanalyses en Mijnakker informatie onderzocht.

De percelen zijn ingetekend op Mijnakker.nl, waardoor van het seizoen 2011 satellietbeelden beschikbaar zijn, welke een beeld geven van de actuele gewassituatie van dat moment. In Figuur 25 is een voorbeeld gepresenteerd van een satellietbeeld op 12 juli 2011 van een praktijkperceel aardappelen in Flevoland.

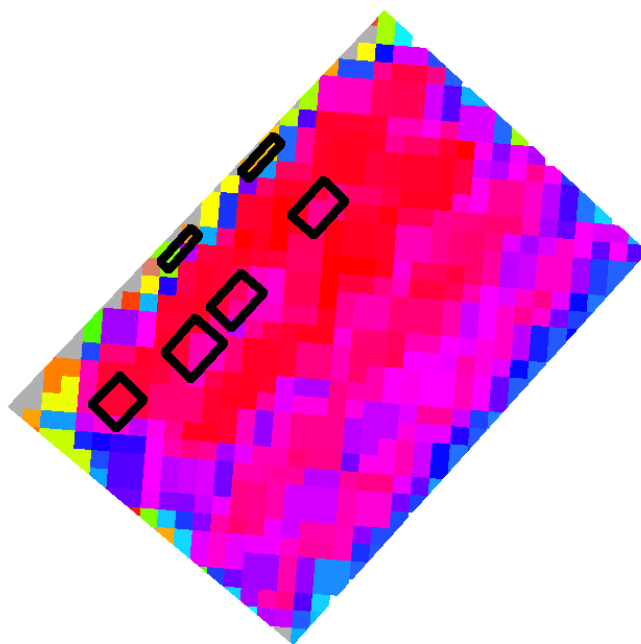
Door de langdurige perioden met veel bewolking is er slechts een gering aantal satellietbeelden beschikbaar uit de periode dat er ook met de CropScan op de velden is gemeten.

Van het perceel in Vierhuizen was er geen beeld tussen 31 mei en 7 juli. Hierdoor was voor dit perceel geen datavergelijking mogelijk.

Voor het perceel in Valthermond is er gedurende de gehele periode van 15 juni tot 18 juli alleen een satellietbeeld van 7 juli dat samenvalt met de meetdatum van de CropScan op 8 juli.

Bij PPO Lelystad is er van de periode 20 juni tot 15 juli alleen een beeld op 12 juli. Op 15 juli is gemeten met de CropScan en bemonsterd voor de analyse van de totale N-inhoud in de bovengrondse gewasdelen.

Bij akkerbouwer Zondag in Biddinghuizen waren gedurende de periode van 9 juni tot 15 juli twee satellietbeelden genomen op 12 juni en 12 juli, terwijl met de CropScan en destructieve gewasanalysemetingen zijn verricht op 6 juni en 15 juli.



Figuur 25. Satellietbeeld Mijnakker op 12 juli 2011 van een PPL praktijkperceel in Flevoland

### 5.2.1 Data van Mijnakker

De resultaten van mijnakker.nl worden mede gepresenteerd met de index NDVI, Stikstof in blad, Stikstof in bovenste bladlaag.

**NDVI (vegetatie index):** Een NDVI is een algemene graadmeter voor de groei en vitaliteit van een gewas. De hoogte van de index wordt zowel door reflectie uit zichtbaar licht als reflectie uit het infrarode spectrum bepaald. Hierdoor zegt de NDVI zowel iets over de hoeveelheid biomassa als over de hoeveelheid stikstof in het gewas.

**Stikstof in blad:** Een door Mijnakker berekende parameter die een beeld geeft van de totaal opgenomen stikstof in de bovengrondse gewasdelen.

**Stikstof in bovenste bladlaag:** Een door Mijnakker berekende parameter die alleen de hoeveelheid stikstof in de bovenste bladlaag aangeeft.

### 5.2.2 Data van destructieve gewasanalyses

Gedurende het groeiseizoen zijn op twee momenten volledige planten afgeknijpt. Hiervan is het gewicht vastgesteld. Tevens is de totale stikstofinhoud middels een drogestofanalyse in het laboratorium van ALTIC vastgesteld. Op basis van de plantafstand, plantgewicht en stikstofgehalte is per plot en per meetmoment de N-opname per hectare berekend.

### 5.2.3 Data CropScan

De CropScan MSR16R is gebruikt voor het meten van de gewasreflecties. Het model MSR16R kan tot maximaal 16 sensorbanden meten in een bereik van 450-1750 nm.

De sensor werd verticaal boven het bladerdek van het gewas gehouden. Uit de sensorgegevens kunnen Vegetatie Indices (WDVI en NDVI) worden berekend.

$$WDVI_{gr} = r810 - (bare\_r810 / bare\_r560) * r560$$

$$NDVI = (r760 - r670) / (r760 + r670)$$

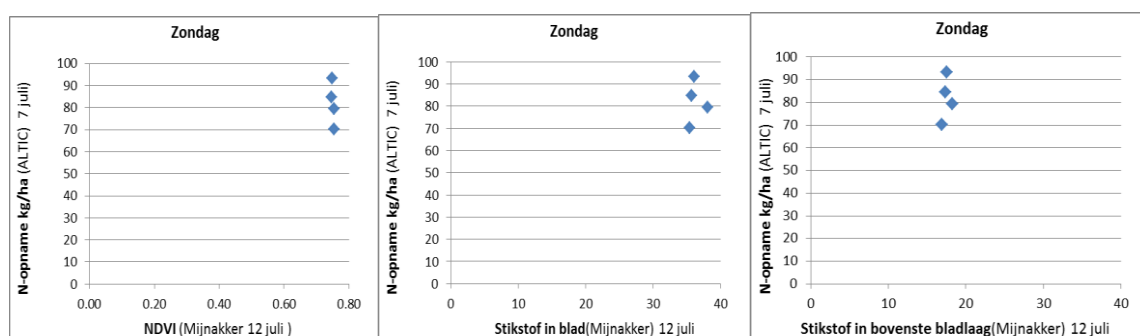
## 5.2.4 Dataverwerking

Na verzameling van de sensorgegevens uit de Mijnakker-satellietbeelden, de CropScan en de analyseresultaten van de stikstof in de bovengrondse gewasdelen zijn alle gegevens in 1 spreadsheet verzameld. Voor een goede en betrouwbare datavergelijking is het noodzakelijk dat de meetdata van de Mijnakker-satellietbeelden niet teveel dagen afwijkt van de metingen met de CropScan en de destructieve gewasanalyses. Derhalve is voor de datavergelijking met satellietgegevens alleen de data bewaard die wat betreft meetmoment goed overeenkomen. De overige data is voor de vergelijking met satellietdata buiten beschouwing gelaten.

## 5.3 Resultaten

### 5.3.1 Praktijkperceel Biddinghuizen (Zondag)

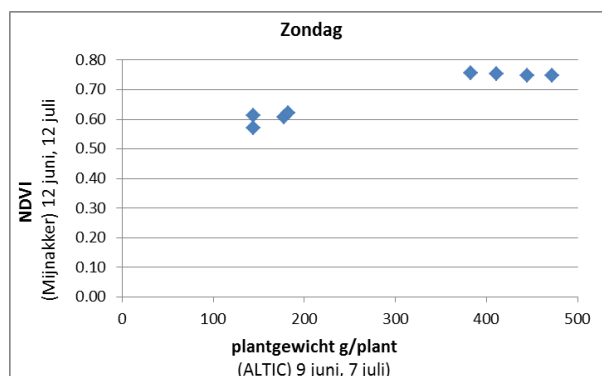
In Figuur 26 zijn de Mijnakker satellietbeelden op 12 juli uitgezet tegen de N-opname, berekend uit drogestofanalyses en plantgewicht op 7 juli. Vanwege de resolutie van de satellietbeelden zijn de veldjes 5 en 6 beïnvloed door randeffecten. Voor een zuivere vergelijking tussen de meetwaarden van Mijnakker en de CropScan zijn daarom de waarden van de veldjes 5 en 6 in de volledige datavergelijking buiten beschouwing gelaten.



Figuur 26. **Relatie tussen NDVI, Stikstof in blad, Stikstof in bovenste bladlaag van Mijnakker en de N-opname op het veld in Biddinghuizen in 2011.**

Uit Figuur 26 blijkt geen duidelijk verband tussen de Mijnakker satellietbeelden en stikstofopname berekend uit drogestofanalyses en plantgewicht op het perceel aardappelen in Biddinghuizen (Flevoland).

In Figuur 27 zijn de Mijnakker satellietbeelden op 12 juni en 12 juli uitgezet tegen het plantgewicht op 9 juni en 7 juli.

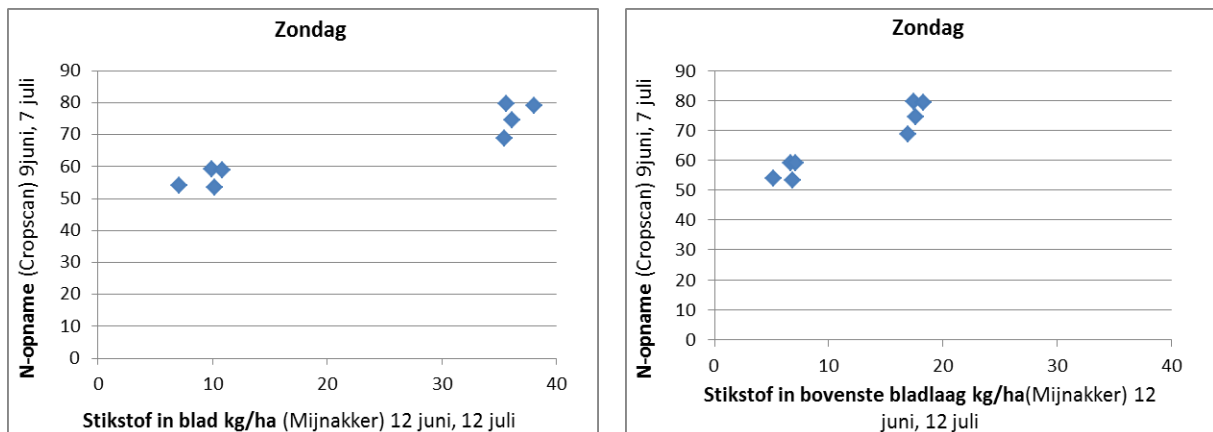


Figuur 27. **Relatie tussen NDVI van Mijnakker en plantgewicht op het veld in Biddinghuizen in 2011.**

Er blijkt in 2012, in tegenstelling tot stikstof, een sterker verband tussen de Mijnakker satellietbeelden en plantgewicht (biomassa) op het perceel aardappelen in Flevoland. Een hogere biomassa leidde op 9 juni ook tot een hogere waarde van de NDVI. Vanuit eerder onderzoek is bekend dat bij een hoge biomassa de NDVI

verzadigd raakt. Daardoor kunnen bij een hogere biomassa onderlinge verschillen met de NDVI niet meer nauwkeurig worden vastgesteld. In het algemeen kan echter wel worden gesteld dat satellieten met de NDVI biomassa-ontwikkeling kunnen registreren. Uit de resultaten in figuur 3 blijkt dat door de verzadiging van de NDVI een goede meting van de biomassa met een satelliet begin juli niet betrouwbaar meer kon plaatsvinden.

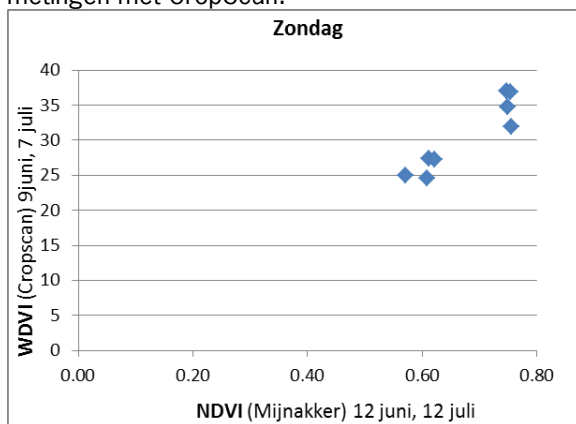
In Figuur 28 zijn voor het perceel aardappelen in Biddinghuizen de Mijnakker satellietbeelden op 12 juni, 12 juli uitgezet tegen de N-opname, berekend uit de CropScan meting op 9 juni en 7 juli.



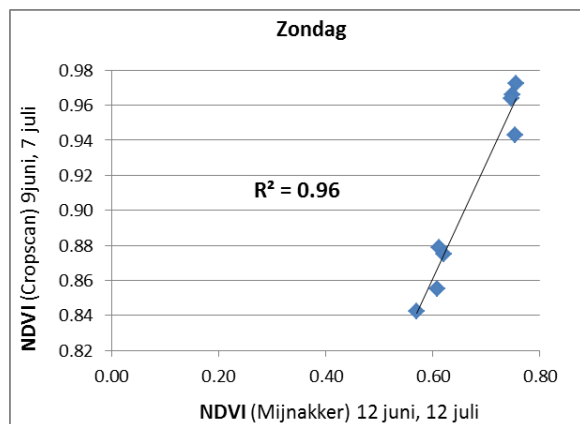
Figuur 28. **Relatie tussen Stikstof in blad, Stikstof in bovenste bladlaag van Mijnakker en de N-opname, berekend uit CropScan meting op het veld van akkerbouwer Zondag in Biddinghuizen in 2011.**

Er lijkt wat betreft de N-opname berekend uit de WDWI van de CropScan en de op Mijnakker gepresenteerde N-gegevens in juni een verband te zijn tussen Mijnakker en CropScan metingen. Op basis van deze kleine dataset kan echter geen algemeen verband of formule worden herleid.

In de Figuur 29 zijn de Mijnakker NDVI waarde op 12 juni, 12 juli uitgezet tegen de WDWI berekend uit metingen met CropScan.



Figuur 29. **Relatie tussen Mijnakker NDVI en de CropScan WDWI op het veld Zondag in 2011.**



Figuur 30. **Relatie tussen Mijnakker NDVI en de CropScan NDVI op het veld Zondag in 2011.**

Uit Figuur 29 kan worden herleid dat er in juni een relatie lijkt te zijn tussen Mijnakker NDVI en CropScan WDWI op het veld Zondag. In juli treedt de verzadiging op, waardoor evenals bij de overige parameters geen algemeen verband kan worden vastgesteld op basis van deze beperkte dataset.

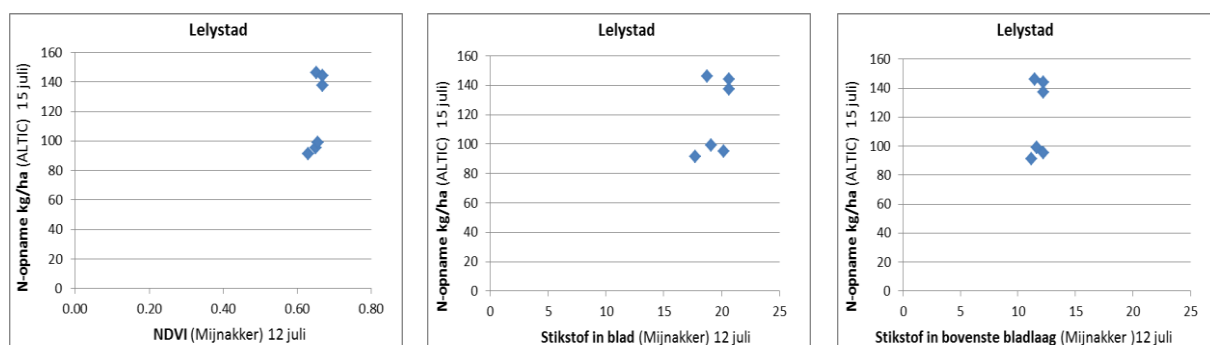
In Figuur 30 zijn de Mijnakker NDVI waarde op 12 juni, 12 juli uitgezet tegen de CropScan berekende NDVI.

Uit deze figuur blijkt dat NDVI mijnakker en WDWI of NDVI CropScan beiden toenemen in de periode van 6 juni tot 7 juli. Er is in deze periode een sterke relatie tussen de 2 vegetatie indices op het veld Zondag. Dit geeft aan dat wanneer op basis van twee verschillende meetsystemen een vergelijkbare gewasindex wordt

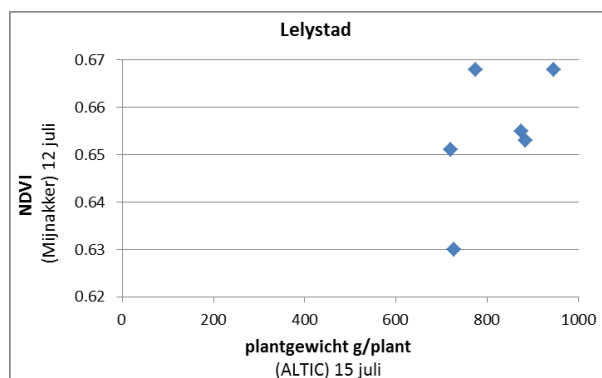
berekend. Wanneer bijvoorbeeld een WdVI van de CropScan wordt vergeleken met een NDVI van een satellietbeeld, ontstaat er naast verschil in index, eveneens variatie omdat de informatie afkomstig is van verschillende meetsystemen (CropScan versus satelliet) en de opnames op verschillende momenten zijn gemaakt.

### 5.3.2 Praktijkperceel PPO Lelystad

In Figuur 31 zijn de Mijnakker satellietbeelden op 12 juli uitgezet tegen de N-opname, berekend uit drogestofanalyses en plantgewicht op 15 juli. Er is geen duidelijk verband tussen de Mijnakker satellietbeelden en stikstofopname berekend uit drogestofanalyses en plantgewicht op het aardappelperceel in Lelystad.



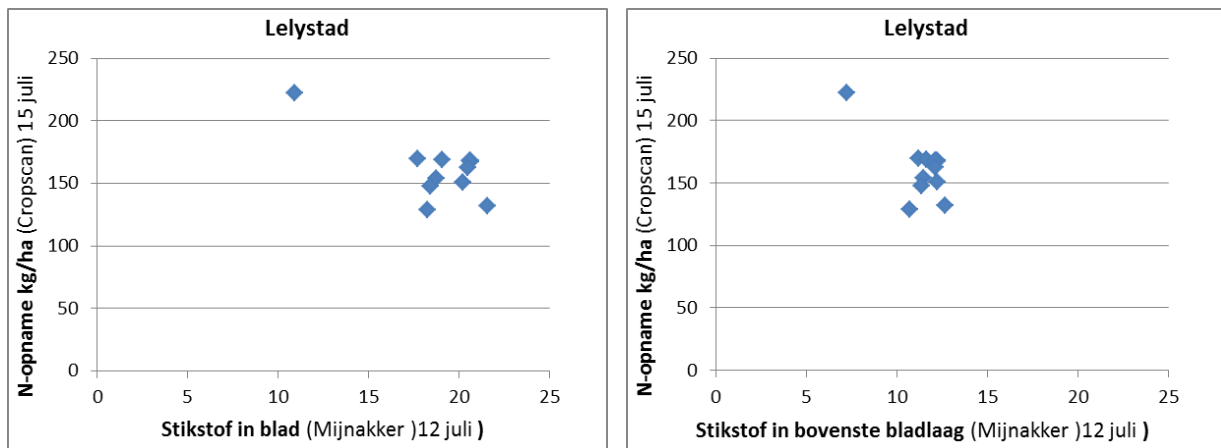
Figuur 31. **Relatie tussen NDVI, Stikstof in blad, Stikstof in bovenste bladlaag van Mijnakker en de N-opname in Lelystad 2011.**



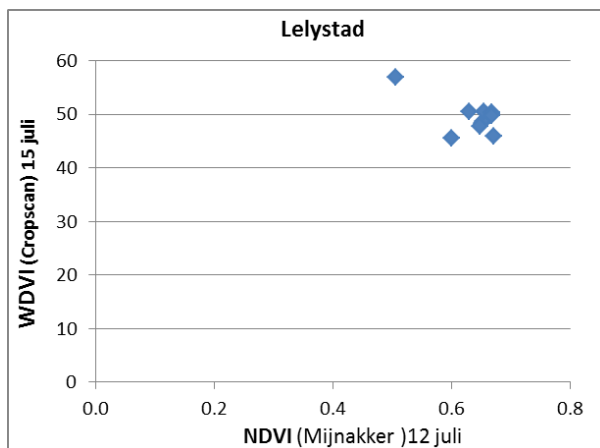
Figuur 32. **Relatie tussen NDVI van Mijnakker en plantgewicht (biomassa) op het veld in Lelystad in 2011.**

In Figuur 32 zijn de Mijnakker satellietbeelden op 12 juli uitgezet tegen het plantgewicht (biomassa) op 15 juli. Hieruit lijkt half juli een geringe relatie tussen Mijnakker NDVI en de door ALTIC fysiek vastgestelde plantgewichten op het veld in Lelystad.

In Figuur 33 zijn de Mijnakker satellietbeelden op 12 juli uitgezet tegen de N-opname, berekend uit de CropScan meting op 15 juni. Er was geen verband tussen Mijnakker en CropScanmetingen op het aardappelperceel in Lelystad, zoals blijkt uit deze figuur.



Figuur 33. Relatie tussen Stikstof in blad, Stikstof in bovenste bladlaag van Mijnakker en de N-opname, berekend uit CropScan meting in Lelystad in 2011.

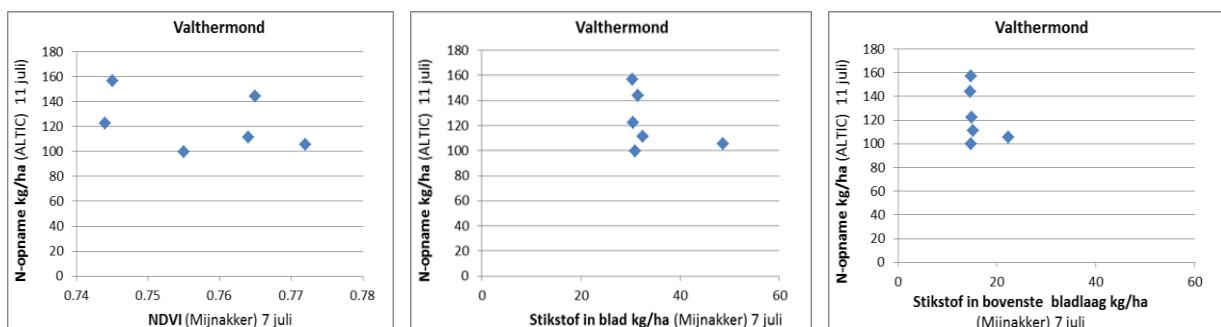


Figuur 34. Relatie tussen Mijnakker NDVI en de CropScan WDWI op het veld Lelystad in 2011.

In Figuur 34 zijn de Mijnakker NDVI waarde op 12 juli uitgezet tegen de CropScan berekende WDWI. Uit deze figuur blijkt geen duidelijke relatie tussen Mijnakker NDVI en CropScan WDWI op het veld Lelystad.

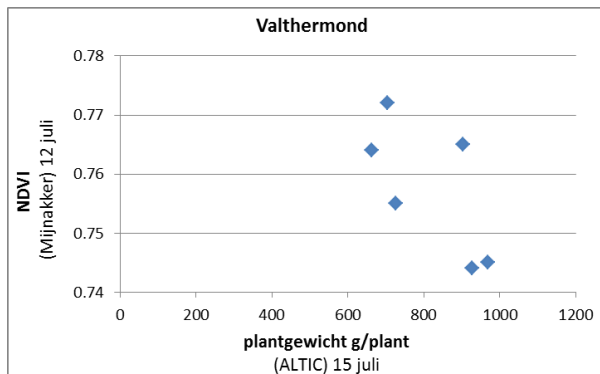
### 5.3.3 Praktijkperceel PPO Valthermond

In Figuur 35 zijn de Mijnakker satellietbeelden op 7 juli uitgezet tegen de N-opname, berekend uit drogestofanalyses en plantgewicht op 11 juli. Uit de figuren blijkt dat er begin juli geen duidelijk verband kon worden vastgesteld tussen de Mijnakker satellietbeelden en stikstofopname berekend uit drogestofanalyses en plantgewicht op het veld Valthermond.



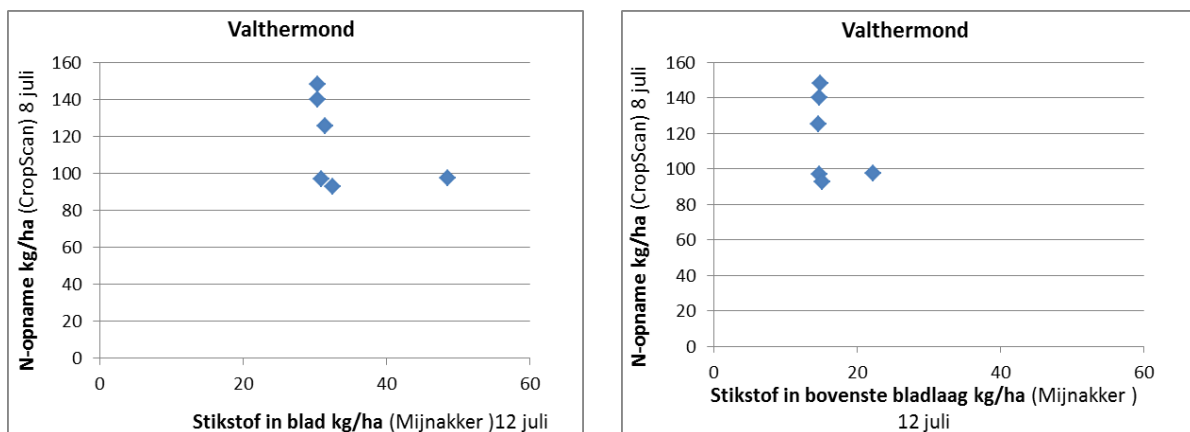
Figuur 35. Relatie tussen NDVI, Stikstof in blad, Stikstof in bovenste bladlaag van Mijnakker en de N-opname op het veld Valthermond in 2011.

In Figuur 36 zijn de Mijnakker satellietbeelden op 7 juli uitgezet tegen het plantgewicht op 11 juli. Er is begin juli geen duidelijk verband tussen de Mijnakker satellietbeelden en plantgewicht (biomassa) op het veld Valthermond, zoals blijkt uit deze figuur blijkt.



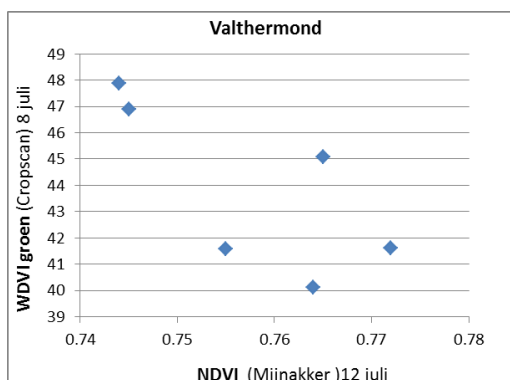
Figuur 36. Relatie tussen NDVI van Mijnakker en plantgewicht op het veld in Valthermond in 2011.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn de Mijnakker satellietbeelden op 7 juli uitgezet tegen de N-opname, berekend uit de CropScanmeting op 8 juli. Er was begin juli geen verband tussen stikstofgetallen berekend op basis van satellietbeelden (Mijnakker) en CropScanmetingen op het veld in Valthermond.



Figuur 37. Relatie tussen Stikstof in blad, Stikstof in bovenste bladlaag van Mijnakker en de N-opname, berekend uit CropScanmetingen op het veld Valthermond in 2011.

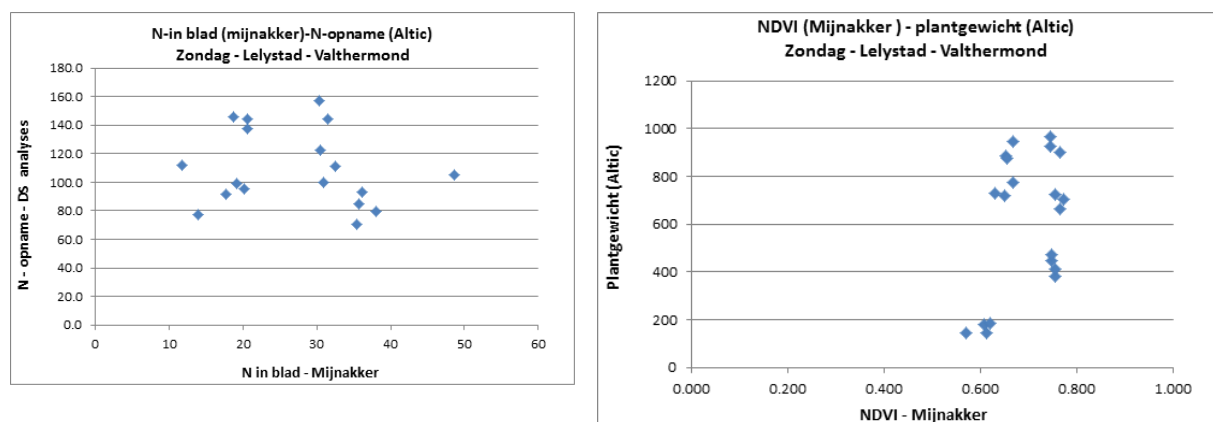
In Figuur 38 zijn de Mijnakker NDVI waarde op 12 juli uitgezet tegen de op basis van de CropScan berekende WDWI. Uit deze figuur blijkt dat er begin juli geen duidelijke relatie was tussen Mijnakker NDVI en CropScan WDWI op het veld Valthermond.



Figuur 38. Relatie tussen Mijnakker NDVI en de CropScan WDWI op het veld Valthermond in 2011.

### 5.3.4 Vergelijking alle beschikbare data

Ook als de data van de verschillende percelen samen worden, zijn de verbanden van de gewassituatie verkregen uit veldbemonsteringen rond 12 juli met de uit satellietdata van 12 juli afgeleide vegetatie index (NDVI) en N-opname slecht. (Figuur 39).



Figuur 39. **Verbanden N in blad Mijnakker (satellietopname 12 juli en N –opname uit analyse Altic en NDVI-mijn akker en gemiddeld plantgewicht vastgesteld op drie percelen op 7,8 11 en 15 juli in 2012.**

## 5.4 Discussie en aanbevelingen

Uit proeven die in voorgaande jaren zijn uitgevoerd bleek dat vroeg in het seizoen goede gewasmetingen mogelijk waren met satellietbeelden, gepresenteerd in de gewasindex NDVI. Door in 2011 aanvullende metingen met de Mijnakker satellieten uit te voeren zou de betrouwbaarheid van de reeds verzamelde data kunnen worden verhoogd.

Het teeltseizoen voor aardappelen in 2011 kenmerkte zich door een hele droge periode in het eerste begin van de teelt en perioden met weinig bewolking. Dit leverde goede satellietbeelden op, maar deze waren te vroeg omdat de aardappelen nog onvoldoende boven stonden. Vanaf het moment dat normaal gesproken goede veldmetingen kunnen worden uitgevoerd, van ca. 1 juni tot de eerste week van juli was van bijna geen enkel praktijkperceel een satellietbeelden. Alleen op praktijkperceel Zondag (Biddinghuizen) is een satellietbeeld van de derde week van juni beschikbaar voor datavergelijking.

De omstandigheden met veel bewolking in, een voor gewasmonitoring cruciale periode heeft er toe geleid dat er slechts een beperkte dataset beschikbaar is gekomen voor vergelijking van satellietdata met andere sensingsystemen.

Mijnakker presenteert de gewasindex NDVI. Deze index geeft goede en betrouwbare informatie over de bovengrondse biomassa ontwikkeling voorafgaand aan gewassluiting. Na gewassluiting bereikt deze index al snel een maximum waarde, waardoor geen verschillen kunnen worden onderscheiden, de NDVI is verzadigd. Met andere gewas indices, onder andere WDWI en Yara –S1 kan ook na volledige bodembedekking nog variatie in gewasontwikkeling worden weergegeven. De waarneming van de satelliet opname op 12 juli, weergegeven als NDVI is dus minder bruikbaar voor een vergelijking met veldwaarnemingen.

Uit gegevens die in juni zijn verzameld blijkt dat er wellicht een relatie is tussen NDVI en resultaten van destructieve gewasanalyses, CropScan- en satellietmetingen. De dataset is echter dusdanig gering van omvang dat op grond van de in dit project verzamelde gegevens hierover geen uitspraak kan worden gedaan over de relatie tussen satellietbeelden, CropScanmetingen en destructieve gewasanalyses.

Het is onduidelijk hoe mijnakker de parameters N in bovenste bladlaag en N in blad berekent. De hoeveelheden stikstof in het blad die mijnakker presenteert variëren voor de percelen in dit onderzoek tussen 10kgN/ha en 80 kgN/ha, terwijl de in het veld bepaalde N-opname in aardappelloof 70 – 180 kg N/ha bedraagt. Het is onduidelijk hoe deze parameter afgeleid uit satellietdata kan worden gebruikt voor een N-bijmestadvies.

In een recent artikel wordt een sterk verband gevonden tussen de WDWI van aardappelen gemeten met een satelliet en WDWI gemeten met CropScan en Yara sensoren (Van Evert et al., 2012a).

Vanwege de lage resolutie van de satelliet opnamen was het niet mogelijk om data van bemestingsproeven,



met grote verschillen in N –opname, te vergelijken met satelliet informatie. Om gedurende het groeiseizoen tot een betrouwbaar systeem te komen waarbij remote sensinggegevens een rol spelen, is betrouwbaarheid en actuele beschikbaarheid van satellietbeelden cruciaal. Ook is het niet mogelijk op basis van NDVI en de afgeleide parameter N in het blad of N in bovenste bladlaag niet mogelijk om rechtstreeks een N advies te kunnen genereren. Met de huidige technieken voor het maken van satelliet opname is geen verbetering te verwachten, omdat bewolking dergelijke opnames altijd parten zal blijven spelen.

Of sensing door middel van radar perspectieven biedt is nog uiterst onzeker Bij deze techniek is bewolking minderstorend maar de vraag is of uit radaropnames vegetatie indexen kunnen worden afgeleid die een indicatie geven voor verschillen in stikstof status van het gewas. Tot nu toe zijn hiervan geen aanwijzingen bekend.



## 6 Lesmateriaal sensor gestuurde stikstof bijbemesting

Het gebruik van gewasreflectie sensoren om stikstofopname van een gewas vast te stellen en een bemestingsadvies te geven is nieuw in de Nederlandse landbouwpraktijk. In het landbouwonderwijs (op MBO en HBO niveau) is niet of nauwelijks lesmateriaal beschikbaar om leerlingen en cursisten kennis te laten maken met de praktische toepassing van dergelijke systemen. In dit hoofdstuk wordt na een theoretische inleiding in een praktijkcasus beschreven hoe uit beschikbare sensor data een taakkaart voor stikstof bijbemesting kan worden gemaakt.

### 6.1 Achtergrond toepassing sensoren

Gewassensoren meten de weerkaatsing van elektromagnetische straling, waaronder zichtbaar licht in specifieke frequenties en bandbreedtes. Uit de reflectie waardes worden vegetatie indexen berekend. Er worden voor verschillende gewaseigenschappen specifieke vegetatie-indexen gebruikt. Om de stikstof status van het gewas te kunnen afleiden wordt vaak de index WDVI (Weighted Difference Vegetation Index) gebruikt. Uit meerjarig onderzoek is komen vast te staan dat er een relatie is van deze index met de stikstofhoeveelheid die het gewas heeft opgenomen. Andere veelgebruikte indexen zijn NDVI (normalized differential Vegetation index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) en REP (Red Edge Position). Hieronder staan de formules voor het berekenen van de enkele indexen uit reflectie.

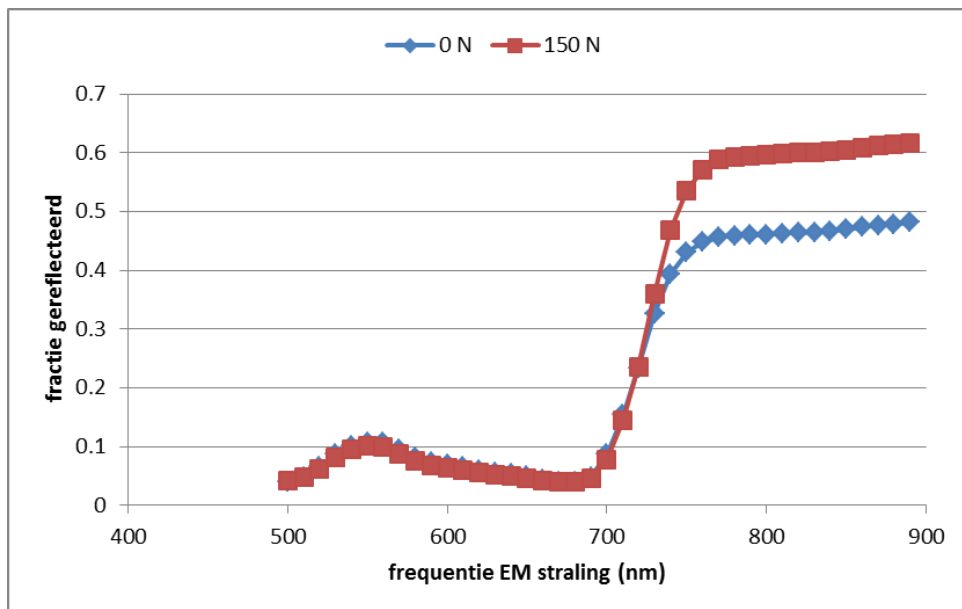
$$\text{NDVI} = (r_{760} - r_{670}) / (r_{760} + r_{670})$$

$$\text{WDVI}_{\text{gr}} = r_{810} - (\text{bare\_}r_{810} / \text{bare\_}r_{560}) * r_{560}$$

$$\text{WDVI}_{\text{ro}} = r_{810} - (\text{bare\_}r_{810} / \text{bare\_}r_{670}) * r_{670}$$

$$\text{REP} = r_{700} + 40 * (((r_{760} + r_{670}) / 2) - r_{700}) / (r_{760} - r_{700})$$

Kenmerkend voor de reactie van de EM reflectie op de N –opname van aardappel is een lage reflectie in het zichtbare licht 380 -700 nm (nanometer) en een grote reflectie van de infrarode (> 780 nm).

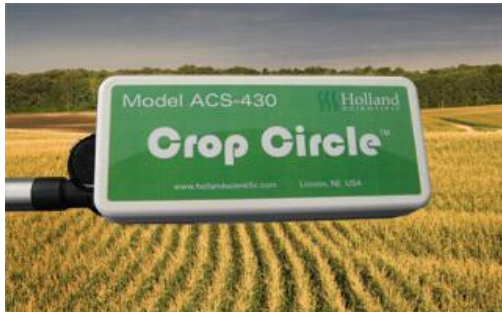


Figuur 40. Reflectie van 2 aardappelvelden waarvan één onbemest (0N) en één veld met een basis bemesting van 150 N gemeten in stappen van 10 nm met de Yara N-sensor.

Naarmate de loofmassa en N gehalte toenemen, neemt ook de reflectie van EM straling > 700 nm toe, terwijl de reflectie in het zichtbare licht weinig verandert Figuur 40.

Voor deze casus zijn CropCircle sensoren Afbeelding 3 gebruikt. Op de spuitbomen van de veldspuit zijn

twee sensoren gemonteerd. De CropCircle sensoren meten elektromagnetisch straling in golflengtes; 670 nm (rood), 730 nm (red edge) en 760 nm (nabij Infra rood). De bandbreedte in elke golflengte bedraagt 10 nm. De gemeten intensiteit van de golflengtes wordt met de bijgeleverde software omgerekend naar vegetatie indexen; de Standaard Vegetatie Index (NDVI) en de NDRE. Daarnaast worden ook de afzonderlijke reflectiewaarden vastgelegd in het systeem. Hierdoor is het mogelijk achteraf vegetatie indexen te berekenen, bijvoorbeeld de  $WDVI_{\text{rood}}$ .



Afbeelding 3. **CropCircle sensor voor het meten van de reflectie.**

De CropCircle sensoren zijn actieve lichtsensoren met een eigen lichtbron. Dit betekent dat de sensor lichtpulsjes uitzendt en de reflectie van de pulsjes meet. Hierdoor is de sensor niet afhankelijk van natuurlijke lichtomstandigheden en kan ook 's nachts worden gemeten.

Sensoren zonder eigen lichtbron meten de invallende straling en de weerkaatste straling en leiden hieruit de mate van reflectie af.

De gebruikte sensoren zijn van het type ACS-470. De sensor werd gedistribueerd door Holland Scientific, maar wordt vanaf 2010 gedistribueerd door AGleader (onder de naam OptRx). De OptRx sensor is volgens de distributeur een verbeterde versie van de CropCircle sensor. Bij de CropCircle sensoren kunnen de golflengtes worden ingesteld door verschillende filters voor de sensoren te plaatsen.

De data van de sensoren zijn vastgelegd met een GeoSCOUT GLS-420 datalogger. De GeoSCOUT legt de data van de beide sensoren afzonderlijk vast en koppelt aan de sensorwaarde een GPS coördinaat. Dat coördinaat is een berekend coördinaat. De GPS ontvanger zelf is op de veldspuit gemonteerd, maar op basis van de gemeten afstand van de sensor tot de ontvanger worden de coördinaten van de afzonderlijke metingen van de beide sensoren berekend. De output van de sensor is een ".csv" bestand met daarin WGS84 GPS coördinaten (in graden en decimalen), de berekende indexen, de sensor (nr. 1 of 2) en de reflectiewaarden van de 3 verschillende golflengtes (licht frequenties zoals die zijn geïnstalleerd op de sensor) weergegeven.

Om de veldvariatie vaststellen voor N-opname zijn de volgende gegevens nodig:

- GPS (Geografische positionering systemen) om de positie vast te stellen
- Betrouwbare meting over gewasstatus met sensoren
- Machines die met nauwkeurig doseringen kunnen variëren.
- Geografisch informatiesysteem (GIS) voor het verwerken van de sensor data tot toepassingskaarten.

Om direct de N-opname uit de vegetatie index af te leiden zijn betrouwbare ijklijnen nodig. Onderzoek heeft dergelijke ijklijnen opgeleverd. Deze ijklijnen zijn bepaald door in proefvelden met stikstoftrappen de vegetatie indexen en de stikstof opname in het gewas te bepalen. Hiervoor is steeds een bepaald typesensor (CropScan) gebruikt. Bij implementatie van deze ijklijn in de praktijk waarbij gewerkt werd met andere typen sensoren bleek deze ijklijn niet één op één toepasbaar voor andere typen sensoren. De afwijkingen waren aanzienlijk waarbij de oorzaak van de verschillen tussen de sensoren nog niet is opgehelderd. De vegetatie index, berekend uit verschillende sensoren, geeft echter wel de relatieve verschillen binnen een veld weer. In deze casus wordt daarom uitgegaan van het relatieve verschil van de vegetatie index in combinatie met een biomestadvies dat is vastgesteld met Aardappelmonitoring op verschillende plekken. Vervolgens zijn adviezen uit Aardappelmonitoring geïnterpoleerd met behulp van de  $WDVI$  kaart.

Met behulp van sensoren is de variatie van de gewasontwikkeling zichtbaar te maken. Deze informatie kan helpen om de meest effectieve managementstrategie voor te schrijven en vervolgens plaats specifiek in een bemesting uit te voeren. Om de sensorgegevens gekoppeld aan coördinaten te verwerken wordt gebruik gemaakt van GIS programma's. Er zijn verschillende GIS programma's om de meetgegevens te analyseren, bewerken en kaarten maken. De optimale methode voor de dataverwerking hangt af van de hoeveelheid gegevens en het te bereiken doel.

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van een praktijkperceel waarbij aan de hand van de gewassensor plaats specifieke gewasreflectie data zijn opgenomen. Het veld is gedurende het groeiseizoen gemeten met de CropCircle. Uit de data van de CropCircle wordt de  $WDVI_{rood}$  berekend.

$$WDVI_{rood} = r760 - (bare\_r760 / bare\_r670) * r670$$

In de theoretische inleiding wordt de WdVI berekend met de reflectie bij 810 nm. Deze is niet beschikbaar bij de CropCircle sensor. WdVI zegt iets over de gewasontwikkeling en de hoeveelheid stikstof die door het gewas is opgenomen. De WdVI onderscheidt zich van andere gewasindexen doordat een correctie wordt uitgevoerd voor de (ongewenste) reflectie van kale grond, (bare) waardoor de meetresultaten worden beïnvloed.

Op basis van deze WdVI waarde is een variabele N-advieskaart gemaakt. Dit houdt in dat de verschillen in N-opname, die door de CropCircle met de index WdVI in kaart zijn gebracht, zijn vertaald in een variabele N-opnamekaart voor het hele perceel. De hoogte van de gift is met Aardappelmonitoring bepaald. Dit is een systeem waarbij op basis van stikstofanalyses in de bladstelen (laboratoriumanalyse) in combinatie met het loofgewicht vier keer in het seizoen een N-advies wordt berekend voor het gewas. Dit systeem is voor enkele punten in het veld uitgevoerd. Op basis van de Aardappelmonitoringadviezen is een absolute N-advieskaart gemaakt waarbij de variatie is gebaseerd op de CropCircle kaart. Hieronder is getoond hoe een taakkaart kan worden uitgevoerd, op basis van de sensordata.

## 6.2 Situatie beschrijving

De grondsoort van het perceel is lichte zavel met 14% lutum en 1,4% organische stof. Volgens de bodemanalyse van voorjaar 2011 zijn K-getal 22, pW getal 40 en Pal getal 46. De voorvrucht is wintertarwe.

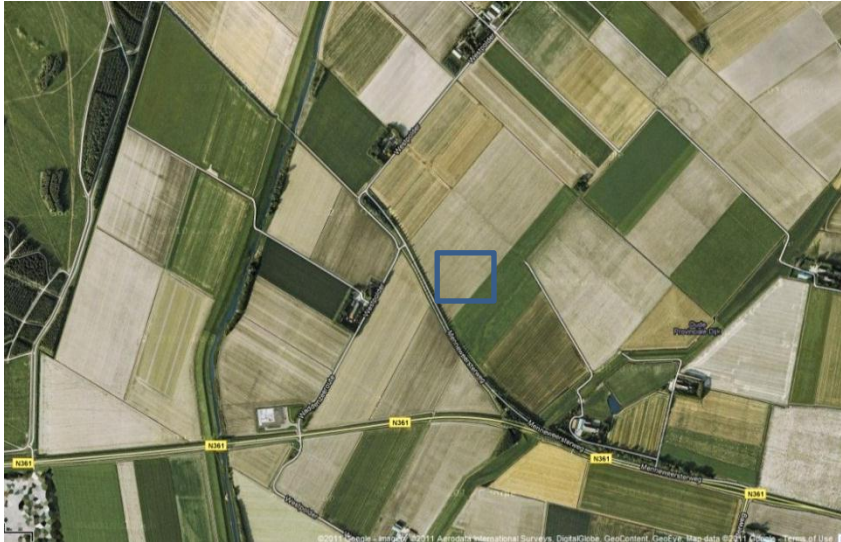
In 2011 werden pootaardappelen (ras Mustang) geteeld. Op 28 april werden de aardappels gepoot onder zeer droge omstandigheden. De pootdichtheid bedroeg 9 knollen per meter. Tijdens het poten werd 125 liter APP (vloeibaar (10-24-0) gegeven. Dit is 12,5 kg N. Na het poten werd met NTS (vloeibare meststof) de basisgift stikstof gegeven op Strook 10, 220 liter, (60 kg N) en op de stroken 2 en 3, 150 liter (40 kg N).

De totale N bemesting voor de pootgoedteelt met dit ras bedraagt 100-120 kg/ha. Voor consumptieteelt bedraagt dit ongeveer de dubbele hoeveelheid. Het teeltdoel is productie voor pootgoed. Daarom is de plantdichtheid groot en wordt de basis bemesting laag gehouden om vroege knolvorming en een hoog knolaantal te stimuleren. De strategie is dus om in het begin de N beschikbaarheid krap te houden en als de knolgroei op gang is, het gewas van voldoende stikstof te voorzien. Het risico dat dan een schadelijk tekort aan N optreedt is daardoor aanwezig.

De maand mei ( $T_g=13,6^{\circ}\text{C}$ ) was warm en vrij droog (neerslag: 41 mm). Het gewas kwam vlot op en eind mei had het loof de bodem al voor bijna 90% bedekt. Op 31 mei, 14 en 27 juni en 6 juli werden bladsteeltjes geplukt om het nitraatgehalte te bepalen. Bij de fytoftora bespuiting werd de gewasreflectie opname gedaan met de twee CropCircle sensoren op de spuitmachine.

De maanden juni en juli waren nat (neerslag respectievelijk: 102 en 144 mm neerslag) en relatief koel ( $T_g=16^{\circ}\text{C}$ ). Eind juli werd het aardappelloof doodgespoten.

Op het veld werden 6 "N-vensters" aangelegd. 3 drie vlakken met een lagere N bemesting en 3 vlakken met een hogere N-bemesting. Aardappelmonitoring werd op deze velden gedaan om met de sensorwaarde een variabel N-advies te interpoleren.



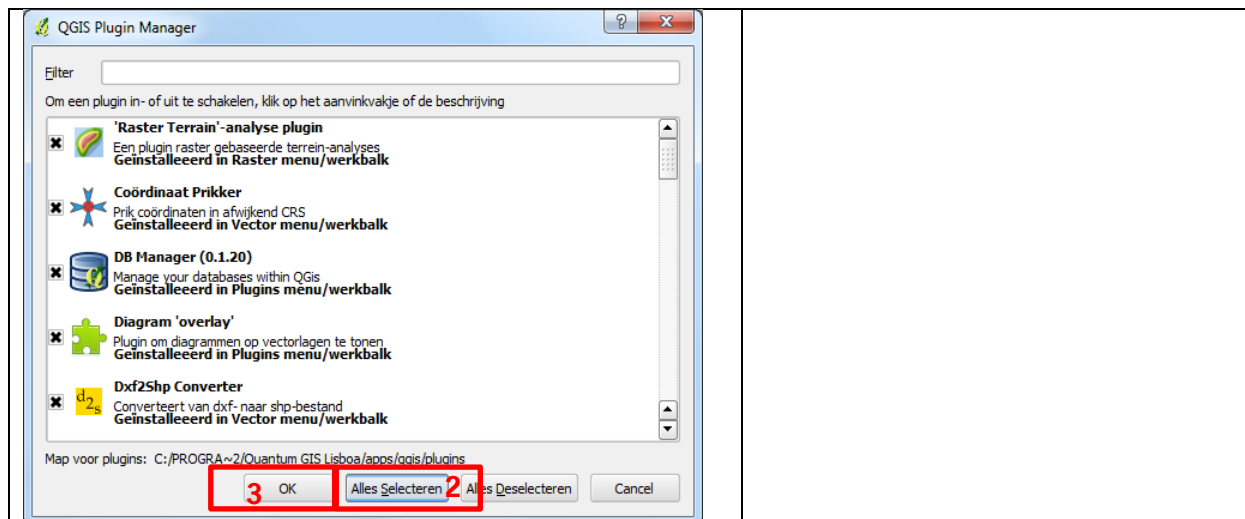
Afbeelding 4. **De locatie van het perceel sensorgestuurde stikstof bijbemesting in pootaardappel in 2011 te Vierhuizen.**

De casus heeft betrekking op één van de percelen die in het kader van het project op verschillende wijzen zijn gemonitord. Naast de gangbare methode van aardappelmonitoring is met CropCircle sensoren gemonteerd op de bomen van een veldspuit een scan uitgevoerd.

## 6.3 Data verwerking CropCircle data

Doorloop de volgende stappen met de dataset

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Het proces voor het maken van de taakkaart is uitgevoerd met Quantum GIS. Quantum GIS is open source software. Het kan gratis worden gedownload van de website: <a href="http://www.qgis.nl/home/">http://www.qgis.nl/home/</a></p> <p>De belangrijkste stappen om een taakkaart uit de sensordata te maken zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Csv. Bestand als laag toevoegen</li> <li>Opslaan als Vectorlaag (shp. Bestand)</li> <li>Grid interpolatie</li> <li>Voeg een nieuwe shape laag en maak een taakkaart</li> </ul> |
|  | <p>Open Quantum GIS. Klik op Plugin Manager, en klik op <i>alles selecteren</i> om alle plugins in te schakelen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

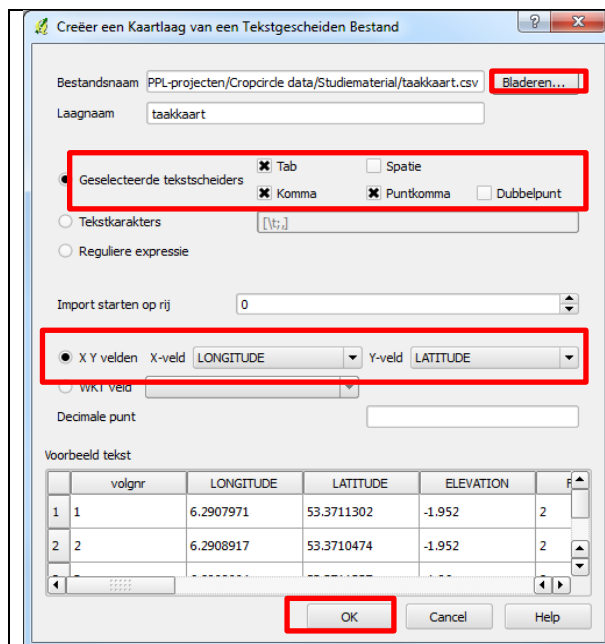
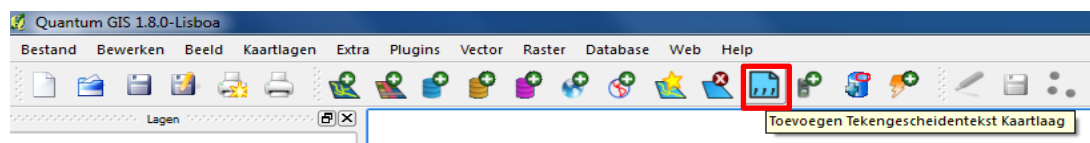


De stappen worden zijn hierna uitgewerkt:

### 6.3.1 CSV-bestand als laag toevoegen

De informatie van de sensormeting is in een .csv bestand opgeslagen. Dit bestand bevat de coördinaten (geografische locaties) en de waarden van alle metingen van beide sensoren. Hieronder wordt beschreven hoe de gegevens uit een tekstbestand als een extra laag op een kaart kunnen worden weergegeven. Het importeren van gegevens via een .csv-bestand werkt het eenvoudigst als dat bestand al x- en y-coördinaten (gps-informatie) bevat.

Voeg toe het .csv bestand als 'Tekengescheidentekst Kaartlaag'.



Klik op *Bladeren* en kies het csv bestand dat je wilt openen.

Om het juiste .csv bestand te kiezen, moet het juiste scheidingsteken worden geselecteerd.

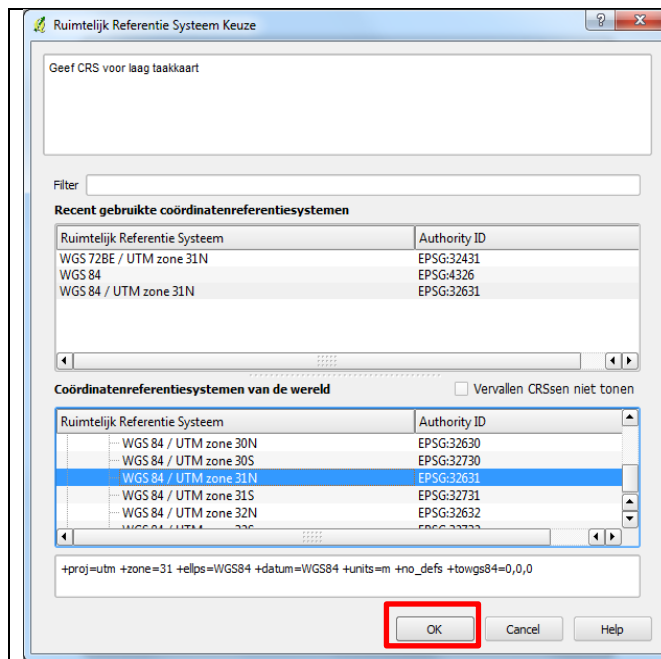
Kies in dit geval Tab, Komma en Puntkomma. Het effect is te zien aan het voorbeeld onderaan het venster.

Verder moet worden aangegeven in welke kolommen de x- en y-coördinaten staan. Het X-veld is de longitude en het Y-veld is de latitude.

Vaak kan QGIS dit al vrij goed raden. De naam van de laag wordt automatisch ingevuld, maar kan zo nodig nog worden aangepast.

Als alles is geselecteerd, klik dan op OK.



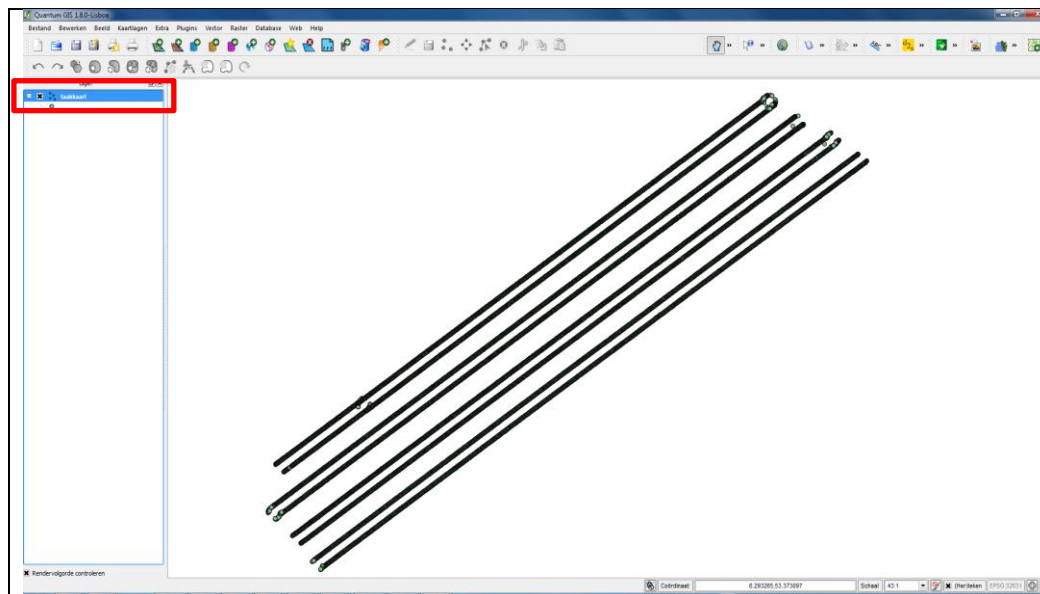


Hierna is het nodig om aan te geven in welk coördinaten stelsel de coördinaten zijn weergegeven.

In dit geval is dit: WGS 84 / UTM zone 31 N, (WGS = World Grid System)

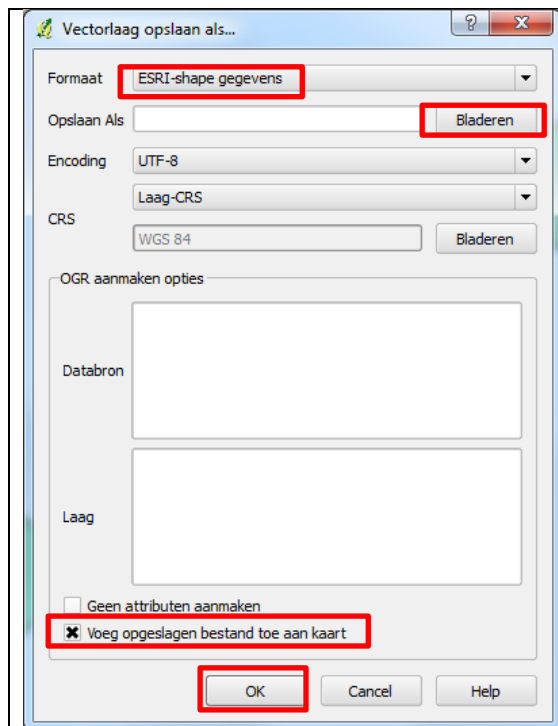
Kies het juiste coördinatenreferentiesysteem.

### 6.3.2 Opslaan als Vectorlaag (shp. Bestand)



De punten uit het tekstbestand zijn te zien als een kaartlaag.





Klik links met de rechtermuisknop op de laag (csv. bestand) en selecteer 'Opslaan als ...'. Het bestandstype moet op 'ESRI-shape gegevens' staan.

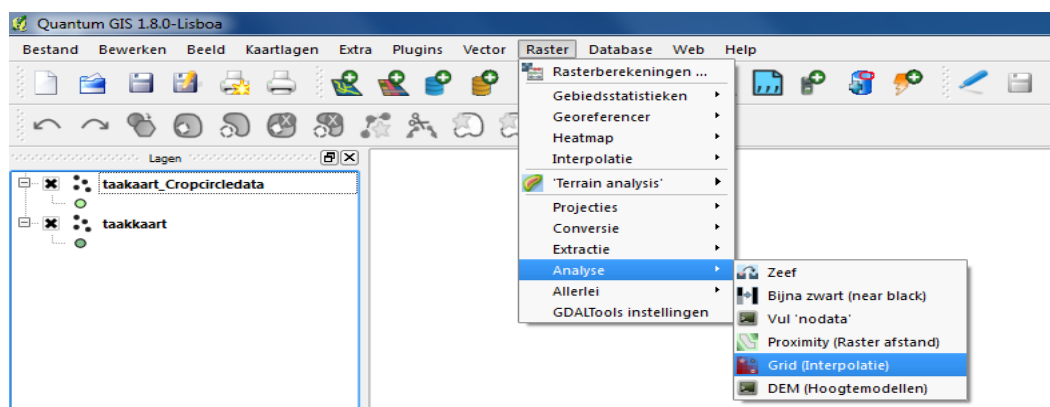
De nieuwe naam van het uitvoerbestand moet worden aangegeven met de knop *Bladeren*. Voeg deze nieuwe laag toe aan het project.

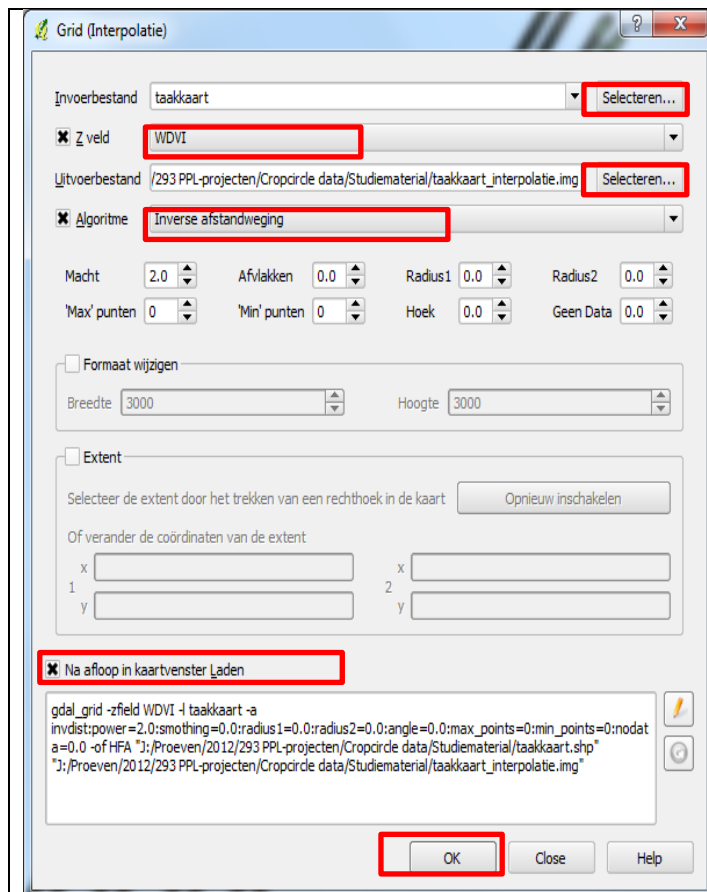
### 6.3.3 Grid Interpolatie

Er zijn voor het maken van geïnterpoleerde rasterkaarten zijn veel verschillende methoden te gebruiken. Hier zijn de WDVJ-waarden van de sensor-meting aan de hand van de methode "Grid-Interpolatie" omgezet in een continu raster. Met deze interpolatie-techniek maken we een continu beeld van de WDVJ-waarden van het gehele veld.

Hier wordt gedemonstreerd hoe de WDVJ gegevens uit de attributen tabel (met data die bij de kaart hoort) van het shape-bestand als geïnterpoleerd raster kunnen worden weergegeven.

Via de menubalk is deze functie te bereiken via Raster/Analyse/Grid (Interpolatie).

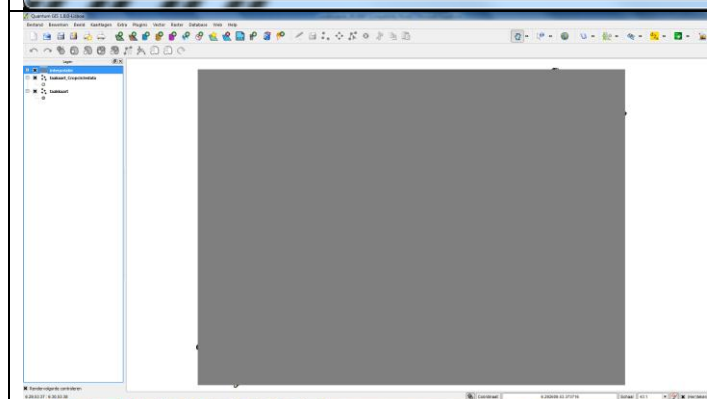




Zorg dat de juiste vectorlaag is geselecteerd (in dit geval de sensordata als shp bestand) en selecteer als uniek Z-veld de WDVI. De naam en het type uitvoerbestand moet worden aangegeven met *Selecteren*. Het bestandstype moet op img. bestand staan.

Selecteer verder de Inverse afstandweging, en kies 'Na afloop in kaartvenster laden'. Het Formaat en Extent mag leeg blijven. Bevestig dat de nieuwe laag aan de inhoudsopgave moet worden toegevoegd en sluit het dialoogvenster.

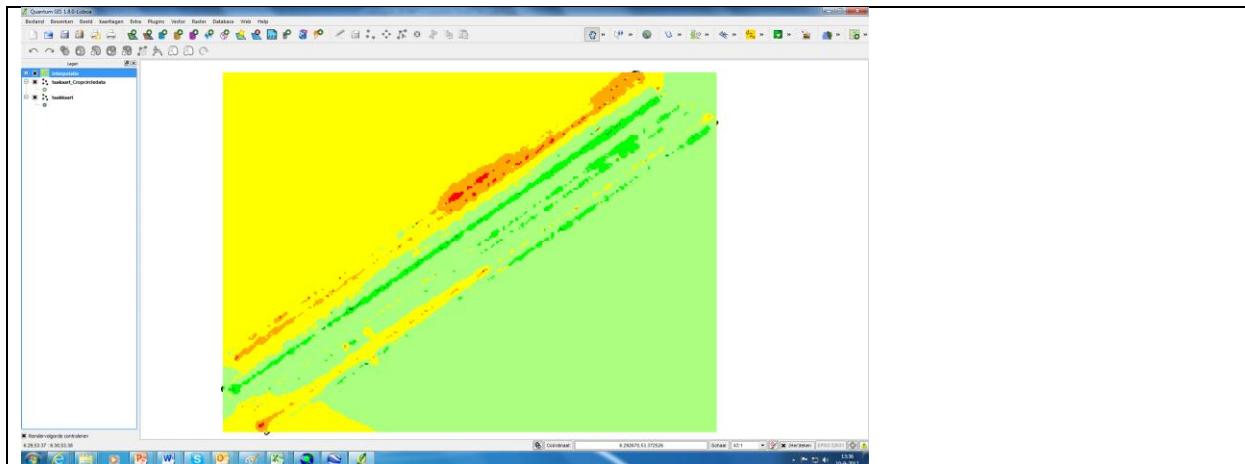
Klik op OK. Als het proces klaar is. Klik op *Close*.



Het resultaat, het scherm voor de WDVI kaart wordt weergegeven.

De WDVI kaart moet nu nog worden geclassificeerd en ingekleurd.

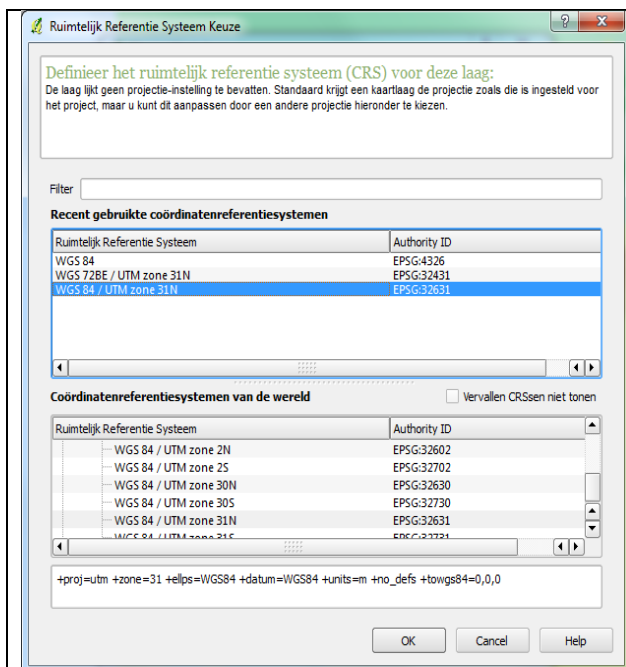




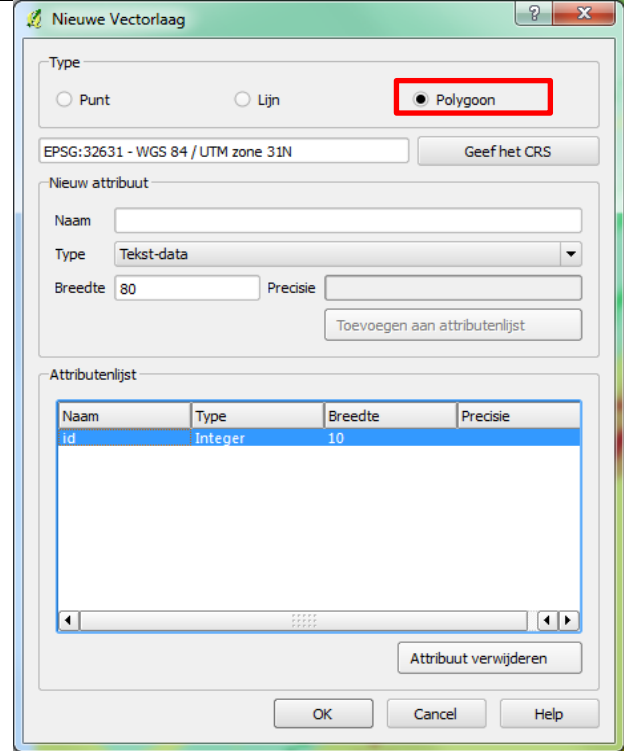
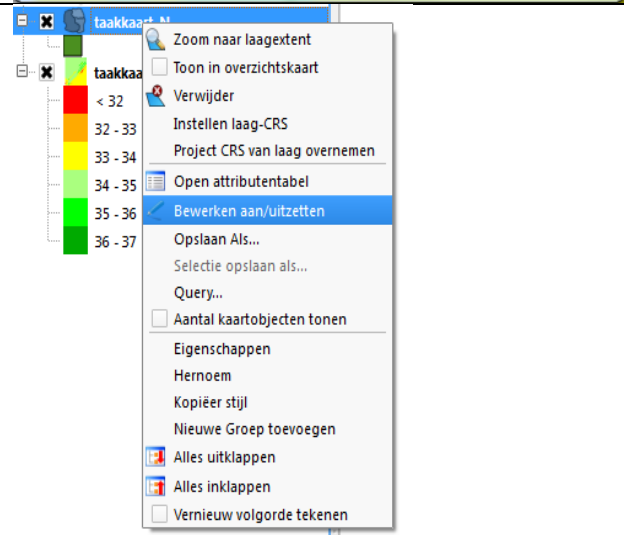
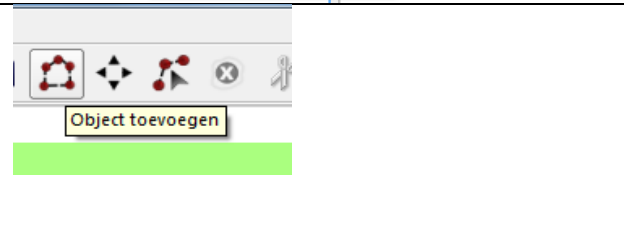
### 6.3.4 Voeg een nieuwe shape laag toe en maak een taakkaart

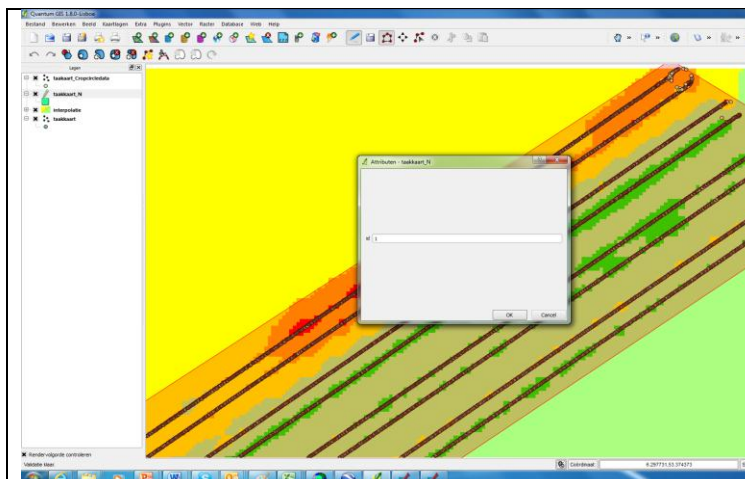
Met behulp van de WDW rasterkaart is nu bekend welke variaties er in het perceel zijn en welke waarde is gekoppeld aan een specifieke kleur. Nu kan de taakkaart worden gemaakt.

Voeg een nieuw Shape bestand toe.

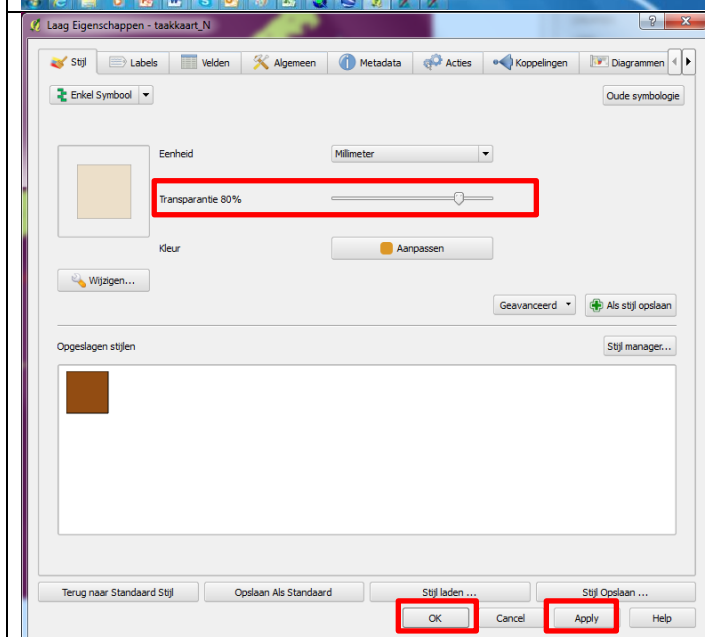


Kies het juiste coördinatenreferentiesysteem (CRS). In dit geval WGS 84 / UTM zone 31 N.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Kies <i>Polygoon</i> als vectorlaagtype</p>                                                                                                                                                    |
|   | <p>De naam van het uitvoerbestand moet worden aangegeven en opgeslagen. Klik links met de rechtermuisknop op de naam van de laag en selecteer <i>Bewerken aanzetten</i>.</p>                      |
|  | <p>Kies <i>object toevoegen</i> en teken de grenzen van het perceel netjes in (met de rechter muisknop kun je de tekening afmaken).<br/>Geef een ID-nummer.<br/>Klik vervolgens op <i>OK</i>.</p> |



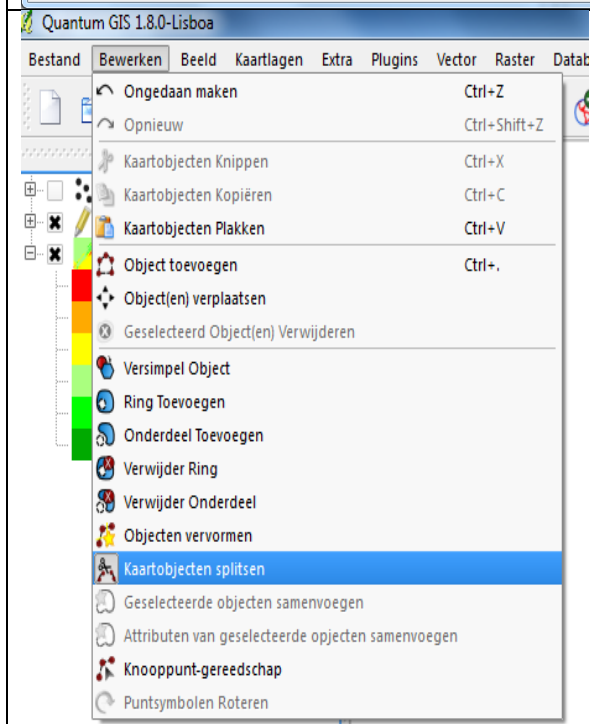
Klik dubbel op de laag en ga naar het tabblad 'Stijl'.  
Kies een hoge transparantie (bijv. 80%).  
Klik vervolgens op de knop 'Apply'.  
Klik op OK



Met de editing tool 'kaartobjecten splitsen' kun je zones van de taakkaart maken, gebaseerd op de onderliggende WDWI kaart.

Op die manier kun je zelf beslissen hoe veel zones, hoe groot en hoe gedetailleerd je deze zones wilt maken. Het lukt bijna nooit om automatisch alle zones in één keer mooi weer te geven. Het blijft noodzakelijk om aan de hand van de gemaakte kaart instellingen wat bij te stellen om de zones mooier te maken.

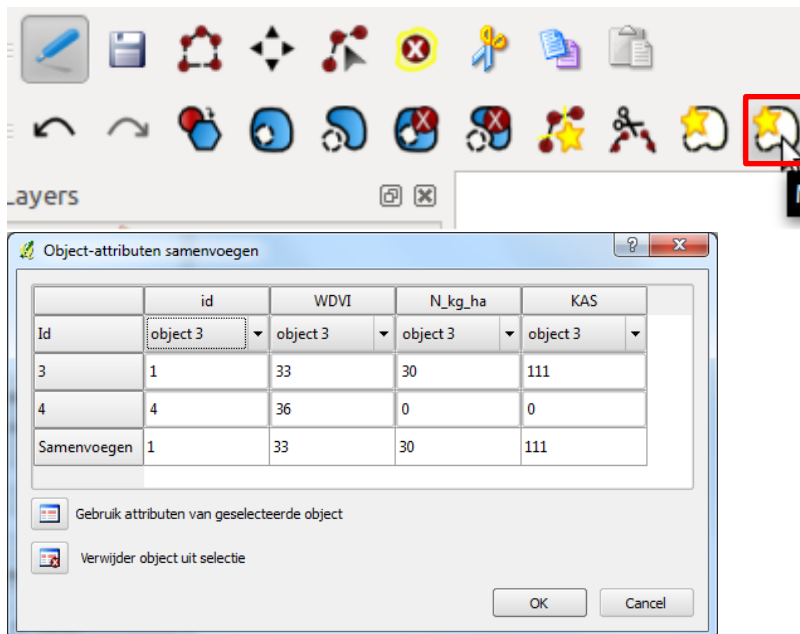
Klik op Bewerken en kies kaartobjecten splitsen. (Bewerken van grens tot met grens en met rechte muis knop kunt je het afmaken)

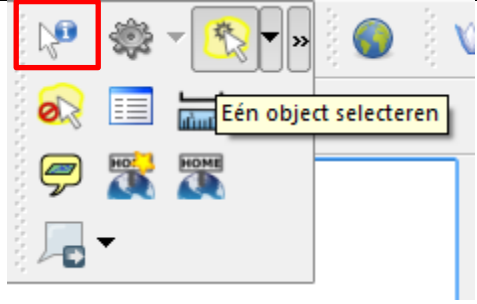


Er zijn meer 'digitizing'-panels. De bovenste rij knoppen is standaard aanwezig bij een installatie van QGIS. De onderste rij knoppen kan zichtbaar worden gemaakt via het menu 'Beeldpanelen'. Meer informatie over editen is beschikbaar op de website [www.qgis.nl](http://www.qgis.nl).

<http://www.qgis.nl/2012/02/12/meerder-e-objecten-features-tegelijk-aanpassen-editten/?lang=en>

Hieronder volgt een korte demonstratie over het samenvoegen van geselecteerde objecten. Dit is nodig om de WDWI –zone kaart om te zetten in een N-bemestingskaart.



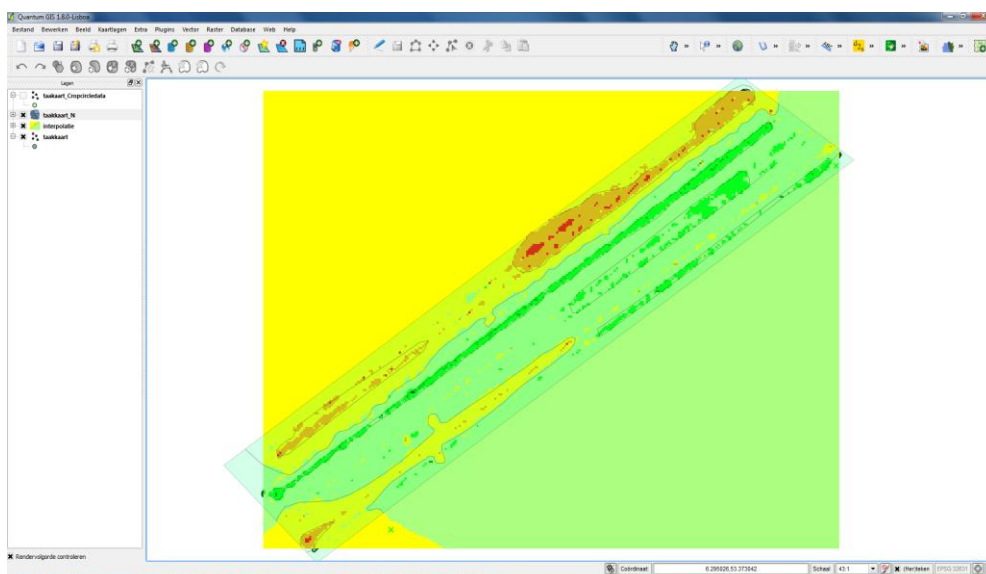


Begin met het selecteren van de objecten waarvan je de attributen allemaal van dezelfde waarde wilt voorzien.

QGIS voorziet in allerlei manieren om van de actieve laag een aantal objecten te selecteren.

Op de afbeelding hiernaast zijn ze te zien (Objecten Identifieren / Een object selecteren): selecteren van een enkel object, via het trekken van een rechthoek, via het tekenen van een vrije vorm of door bij een punt een doorsnede op te geven.

Hieronder is in de figuur de perceelskaart met de ingekleurde zones weergegeven



Als de zones van de taakkaart klaar zijn, kun je de attributen van de taakkaart (shp. bestand) openen. Klik met de rechtermuisknop op de laag en selecteer 'Open attributentabel'.

Voeg nieuwe kolommen toe, bijv. WDWI, N kg/ha en KAS kg/ha.

Attribuuttabel - taakkaart\_N :: 2 / 5 objecten geselecteerd

|   | id | WDVI |
|---|----|------|
| 0 | 1  | NULL |
| 1 | 1  | NULL |
| 2 | 1  | NULL |
| 3 | 1  | NULL |
| 4 | 1  | NULL |

Kolom toevoegen

Naam:

Opmerking:

Type: Geheel getal (integer)

integer

Breedte: 1

Precisie:

OK Cancel

Kies minimum breedte 4 of 5

Attribuuttabel - taakkaart\_N :: 2 / 5 objecten geselecteerd

Alleen selectie tonen Alleen in selectie zoeken Hoofdlettergevoelig Geavanceerd zoeken Zoeken Sluiten

Attribuuttabel - taakkaart\_N :: 1 / 9 object geselecteerd

|   | id | WDVI | N_kg_ha | KAS |
|---|----|------|---------|-----|
| 0 | 1  | 33   | 30      | 111 |
| 1 | 4  | 36   | 0       | 0   |
| 2 | 2  | 34   | 20      | 74  |
| 3 | 1  | 33   | 30      | 111 |
| 4 | 4  | 36   | 0       | 0   |
| 5 | 1  | 33   | 30      | 111 |
| 6 | 2  | 34   | 20      | 74  |
| 7 | 4  | 36   | 0       | 0   |
| 8 | 3  | 35   | 10      | 37  |

Attribuuttabel - taakkaart\_N :: 1 / 9 object geselecteerd

Alleen selectie tonen Alleen in selectie zoeken Hoofdlettergevoelig Geavanceerd zoeken Zoeken Sluiten

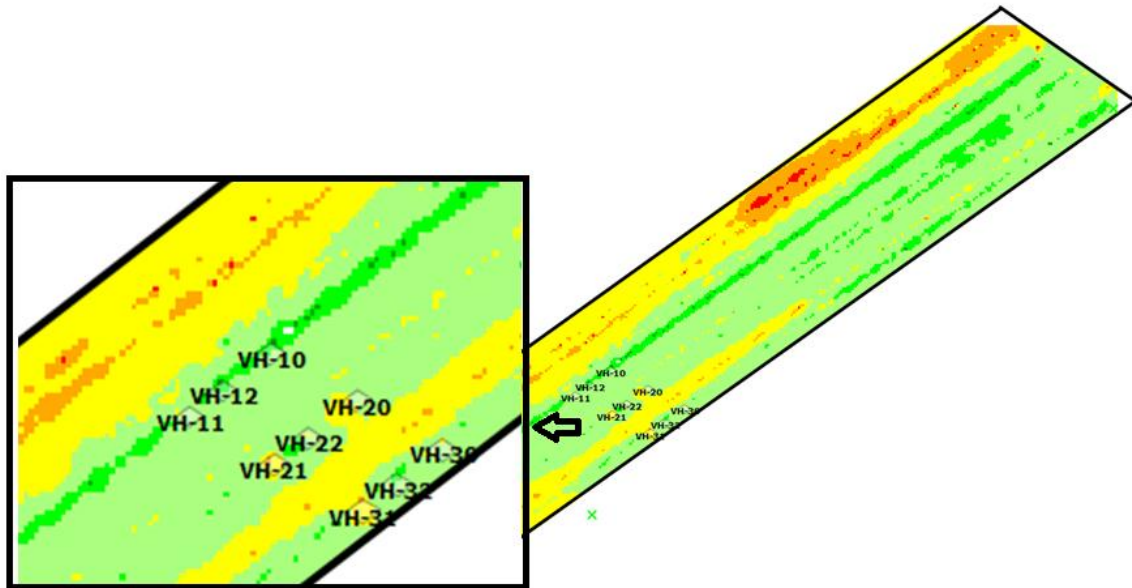
Met een dubbelklik op de cel kun je de attribuuttabel met de waarden invullen. Vul eerst de WDWI-waarden in van elke polygoon. Het N-advies uit aardappelmonitoring nemen we als uitgangspunt voor het invullen van de toe te dienen N-hoeveelheden (dit was 0-30 kg N/ha).

Het perceel is ook met Aardappelmonitoring gevolgd. Hierbij zijn de plekken waar bladsteeltjes zijn genomen vastgelegd.

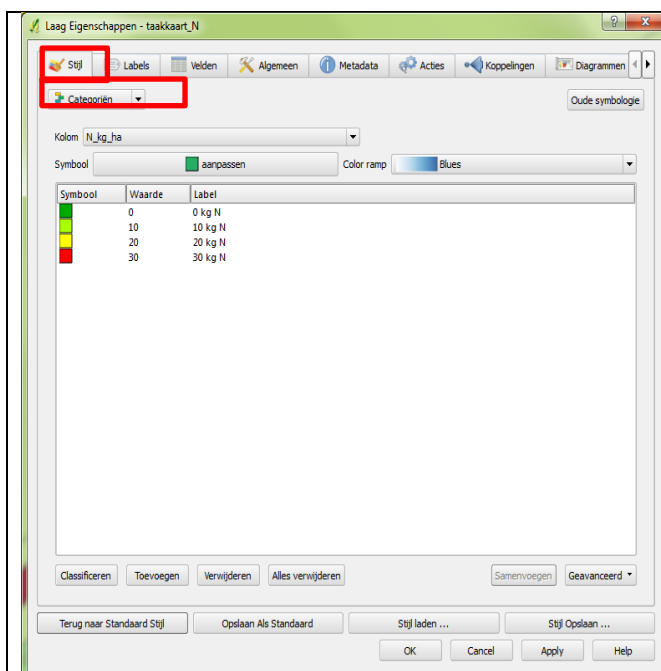
Hieronder zijn de meet- en adviesresultaten van aardappelmonitoring weergegeven.

| projectgewas | DatumIn   | monsteromschrijving | N-advies (kg N/ha) | NO <sub>3</sub> (mg/l) |
|--------------|-----------|---------------------|--------------------|------------------------|
| Aardappelen  | 27-6-2011 | VH-10-3             | 0                  | 3170.63                |
| Aardappelen  | 27-6-2011 | VH-11-3             | 0                  | 2123.57                |
| Aardappelen  | 27-6-2011 | VH-12-3             | 0                  | 4312.89                |
| Aardappelen  | 27-6-2011 | VH-20-3             | 20                 | 900.2                  |
| Aardappelen  | 27-6-2011 | VH-21-3             | 30                 | 133.14                 |
| Aardappelen  | 27-6-2011 | VH-22-3             | 0                  | 3514.2                 |





Bij de laagste WDWI vul je 30 kgN/ha in en bij de hoogste WDWI vul je 0 kgN/ha in. In de derde kolom wordt de hoeveelheid stikstof verrekend in de meststof KAS. In de meststof KAS zit 27% stikstof. Om met KAS 27% 30 kg N/ha toe te dienen, moet 111 kg KAS/ha worden gebruikt.

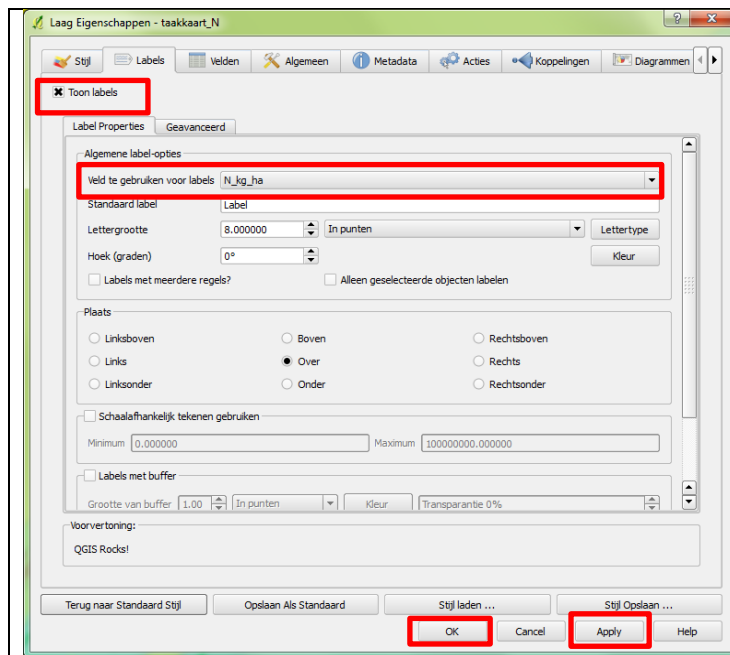


De taakkaart moet worden ingekleurd op basis van een attribuut, bijvoorbeeld de WDWI rasterkaart.

Klik dubbel op de laag en ga naar het tabblad 'Stijl'. Linksboven kun je zien dat de stijl nu op 'Enkel symbol' is ingesteld. Dat betekent in dit geval dat alle zones dezelfde kleur hebben.

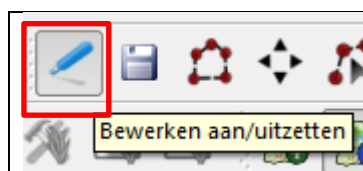
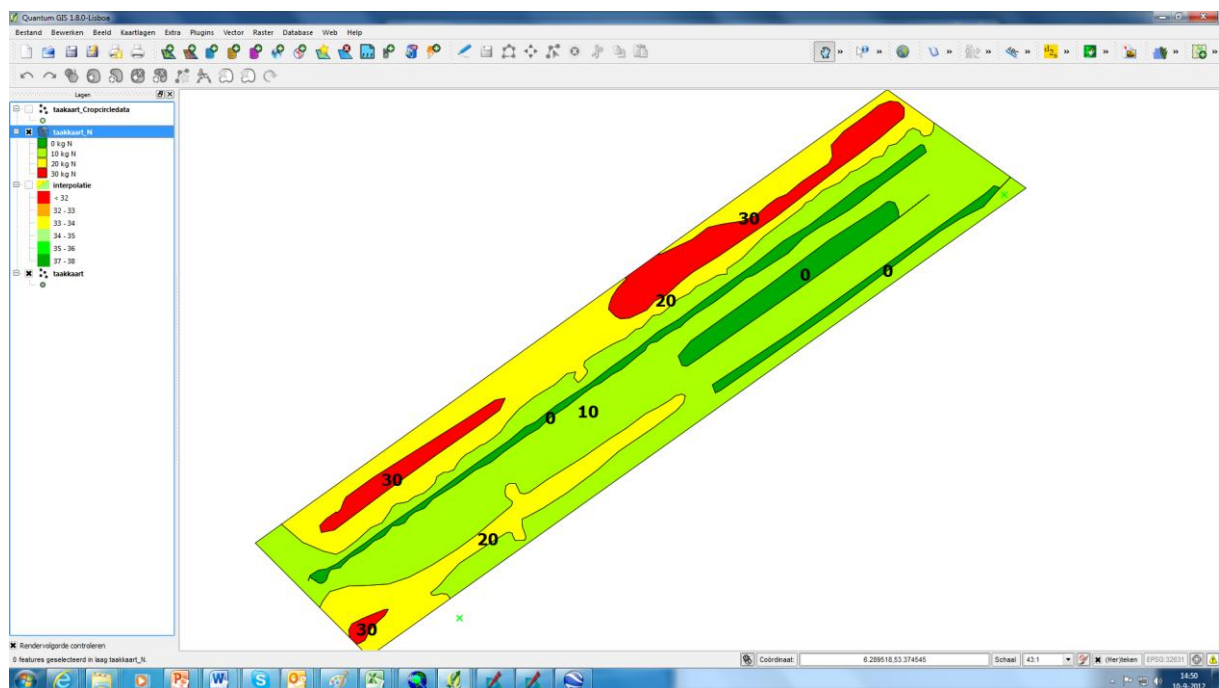
Verander dit in 'Categorieën' en er verschijnen nieuwe opties op het tabblad. Je kunt nu kiezen welk attribuut je wilt weergeven, met welke onderverdeling en welke kleuren.

Als je nu op de knop 'Classificeren' klikt, zie je een onderverdeling met bijbehorende kleuren en labels verschijnen. Om te zien welke effecten deze instellingen op de kaart hebben, klik je op de knop 'Apply'.

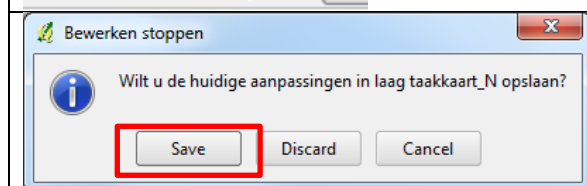


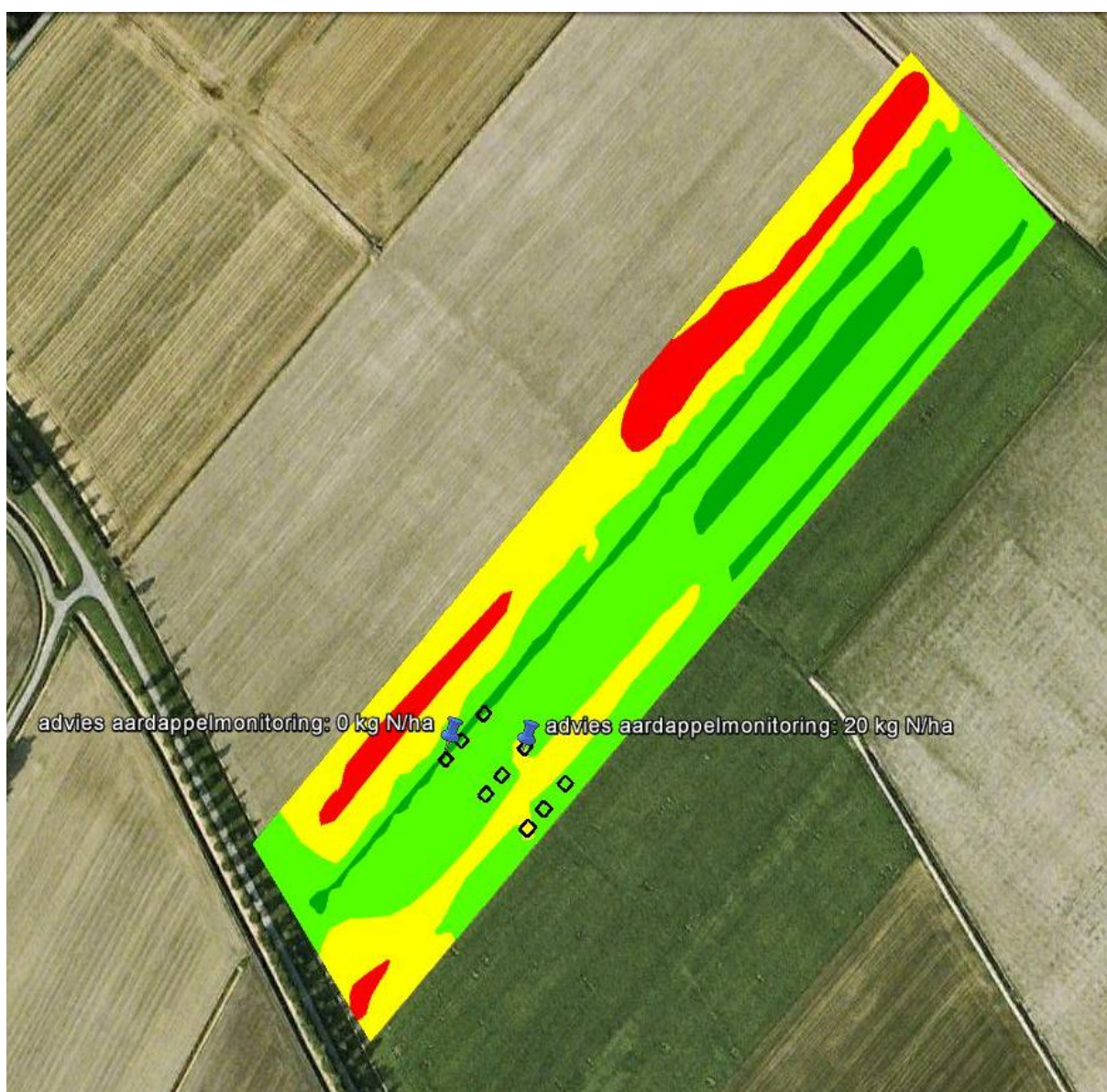
De taakkaart kunnen worden gelabeld op basis van de attribuut. Klik dubbel op de laag en ga naar het tabblad 'Labels'. Met labels wordt bedoeld dat bepaalde waarden uit de attribuuttabel op de kaart worden gevisualiseerd.

Hieronder is de taakkaart met de ingekleurde zones en labels weergegeven.



Als de taakkaart goed is klik op 'Bewerken aan/uitzetten' en kies Opslaan







## 7 Conclusies

Streefwaarden afleiden voordat het bladerdek het gewas volledig heeft bedekt is vooralsnog riskant. De N opname neemt in de periode vlak voor volledige bodembedekking zeer sterk toe zodat een preciese inschatting, binnen marges van 20 kg per hectare niet mogelijk is. Bovendien verloopt de N-opname afhankelijk van de weersomstandigheden sneller of langzamer. De opname curve maken op basis van de temperatuursom lijkt op basis van de beschikbare gegevens niet tot een veel betere streefcurve te leiden. Wellicht kan met behulp van sensing en temperatuursom een meer betrouwbare monitoring van het N-opname verloop worden ontwikkeld. Vooralsnog is het noodzakelijk bij de basis N- gift voldoende N te geven om het gewas tot aan volledige grondbedekking van stikstof te voorzien.

De implementatie van een adviesstelsel op basis van gewassensing volgens Booij leidt ook in de praktijk tot N-bijmestadviezen die gemiddeld iets lager zijn dan N bemesting op basis van de adviesbasis. Bij de implementatie is op alle percelen gebruik gemaakt van de CropScan sensor. Meetwaarden en vegetatie indexen van praktijksensoren wijken af van die van de CropScan sensor op basis waarvan het adviesstelsel volgens Booij is ontwikkeld.

De betrouwbaarheid van het stelsel geldt alleen zolang sprake is van een homogeen bladerdek, dat nog niet in elkaar zakt of is verwaaid. Bovendien zijn de N-bijmest adviezen niet betrouwbaar als sprake is van vochttekort of andere oorzaken van gewasstress. Dit laatste geldt overigens voor alle N bijmest systemen.

De praktijksensoren zijn nog niet bruikbaar voor toepassing van stelsel Booij. De belangrijkste oorzaak is dat de meetwaarden en de hieruit berekende vegetatie indices geen constant verband met een hoge correlatie hebben met de WdVI berekend uit de CropScan metingen.

De sensoren geven wel een beeld van de variatie in N-opname binnen het perceel. Hoewel de exacte N-opname hieruit niet kan worden afgeleid kan wel een toepassingskaart voor variabele N-bijmestgiften worden afgeleid. Voor het vaststellen van de hoogte van de gift zijn aanvullende gewasmetingen nodig, zoals gewas en bodemanalyses. Inpassen van sensing in een NBS wordt verder uitgewerkt in het kader van Masterplan Mineralen Management.

De betrouwbaarheid van de sensoren moet regelmatig worden gecontroleerd.

Bij de opname met sensoren rekening moet worden gehouden met meetomstandigheden:

- Meethoogte van sensor t.o.v. gewas
- stand van de zon hoogte aan de hemel (CropScan sensor houdt hier rekening mee en bepaalt op basis van coördinaten en tijdzone/opnametijd de hoek van de zon aan de hemel)
- Direct zonlicht of bewolking of wisselende bewolking of schaduw tijdens het meten
- De bodemreflectie (invloed van kale grond factor). Kan hiervoor een standaard waarde worden genomen of moet deze elke keer weer worden vastgesteld om correcte WdVI te berekenen. Vaststellen gevoeligheid resultaat van het advies voor variaties van de kale grond factor?

Voor N-bijbemesting in aardappelen is de beschikbaarheid van satellietbeelden onvoldoende. Er waren in 2011 praktisch geen beelden beschikbaar tussen gewasopkomst en sluiting van het bladerdek. Bovendien bleek de directe toepassing van satelliet data voor advisering van de hoogte van een N-bijmestgift niet mogelijk. De correlatie van de data uit de satelliet opname met data van de veld waarnemingen was zeer laag. Er is in de data van 2011 geen verband gevonden tussen deze twee methoden. Het bleek daarom niet mogelijk om noodzaak en hoogte van de N-bijmest gift vast te stellen.

Met gratis beschikbare GIS software kan uit een opname met sensoren een toepassingskaart worden gemaakt voor N-bijbemesting. De marges waarbinnen de gift moet variëren werden vastgesteld met aardappelmonitoring op verschillende plekken op het perceel. De casus is uitgewerkt voor gebruik door studenten in het agrarisch onderwijs.





# BIJLAGE 1. Kalibratie experiment close range sensoren

Lammert Kooistra<sup>1</sup> en Jacob van den Borne<sup>2</sup>

1: Wageningen University, Laboratory for Geo-Information and Remote Sensing, Wageningen, The Netherlands, e-mail: [lammert.kooistra@wur.nl](mailto:lammert.kooistra@wur.nl)

2: Van den Borne Aardappelen, Reusel, The Netherlands, e-mail: [jacobvandenborne@gmail.com](mailto:jacobvandenborne@gmail.com)

## Introductie

Close range sensoren worden in toenemende mate als operationeel meet instrument ingezet in de akkerbouw in Nederland. Verschillende commerciële systemen zijn beschikbaar: Greenseeker, Isaria van Fritzmeijer, CropCircle en Yara.

Een belangrijke vraag bij het gebruik van deze sensoren is in hoeverre metingen over het groeiseizoen consistent blijven en in hoeverre sensoren voldoende gekalibreerd zijn zodat metingen tussen sensoren van hetzelfde type vergelijkbaar zijn.

Om dit laatste aspect te bepalen werd het plan opgevat om voor een aantal verschillende sensoren van hetzelfde type een aantal kalibratie metingen uit te voeren. Dit document beschrijft de uitvoering van een experiment om een algemene methode voor kalibratie van close range sensoren op te zetten.

## Methode

Het bedrijf van den Borne Aardappelen heeft drie typen close range sensoren beschikbaar: Greenseeker, Isaria van Fritzmeijer en CropCircle. Het idee van het experiment was om voor een aantal standaard referentie materialen metingen uit te voeren met de beschikbare sensor koppen van de verschillende typen. Deze metingen werden uitgevoerd in een volledig geblindeerde schuur zodat alleen de lichtbron van de actieve close range sensoren als lichtbron (Figuur 1) werd genomen en er geen effect van verschillen in strooilicht zou worden meegenomen in de metingen. De referentie materialen (Figuur 2) bestonden een witte spectralon plaat, een bruin geverfde plaat, een stuk spijkerstof (heeft elke boer beschikbaar?!) en vijverplastic welke inkomende straling grotendeels absorbeert.



Figuur 1 (links) en 2 (rechts): **Opstelling meet experiment met sensoren op spuitboom en verduisterde schuur (de luiken zijn voor het experiment nog gesloten) en toegepaste referentie materialen in experiment van links naar rechts: vijverplastic, spijkerstof, licht bruin geverfde plaat en witte referentie plaat.**

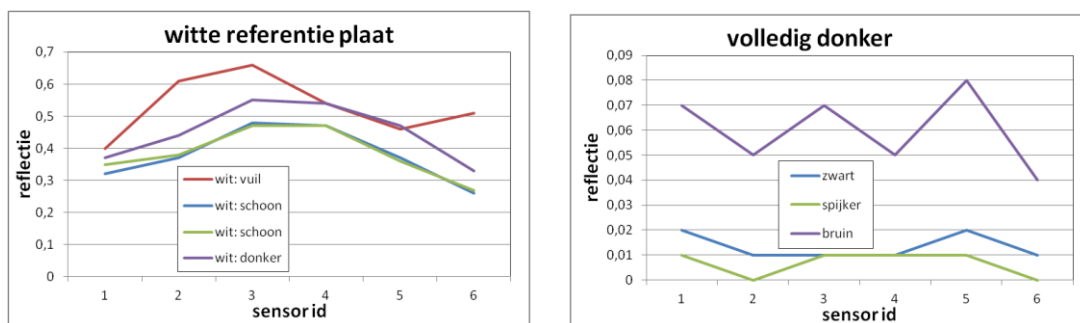
Het uitvoeren van de metingen in een stilstaande situatie (in tegenstelling tot mobiele metingen in het veld) in een donkere schuur veroorzaakte een aantal problemen. Doordat er geen GPS signaal beschikbaar is waaraan de sensor metingen normaliter worden gekoppeld konden de metingen niet automatisch worden gelogd en dus moesten deze handmatig van de terminal in de tractor op papier worden gezet.

Op deze manier kunnen voor de Greenseeker sensoren de direct gemeten basis waarden van de reflectie in rood en nabij-infra rood worden bepaald met 2 decimalen nauwkeurig. Voor de Isaria sensor kunnen alleen de waarden van de vegetatie indices worden gelogd en dus niet de oorspronkelijk gemeten reflectie in de spectrale banden. Hierbij trad een aanvullend probleem op namelijk dat voor sommige referentie materialen

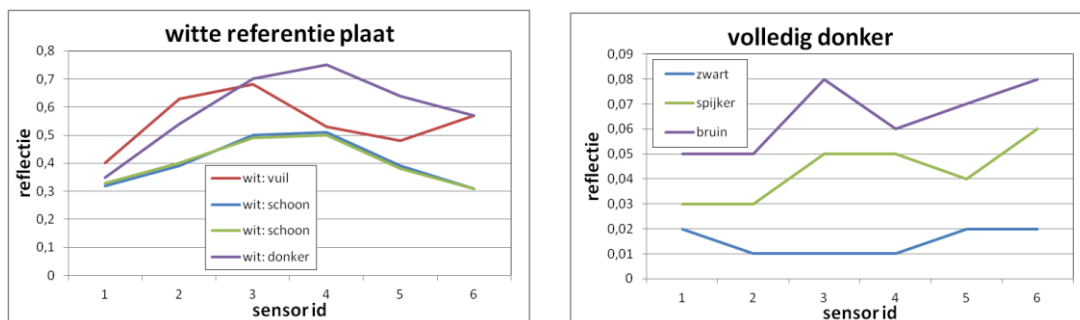
zoals het witte referentie vlak de waarde van de indices naar nul wordt gezet. Dit zou mogelijk veroorzaakt kunnen worden doordat deze meting buiten een specifieke kalibratie bereik van het instrument ligt. In de praktijk betekende dit dat geen metingen voor de Isaria zijn uitgevoerd. Op het moment van het experiment werkte de connectie van de CropCircle sensoren naar de meetterminal niet dus ook voor dit instrument konden geen metingen worden uitgevoerd.

## Resultaten

De figuren 3 en 4 geven een beeld van de variatie in sensor metingen voor zes verschillende Greenseeker sensoren in de rode en NIR band. De metingen voor de witte referentie plaat laten zien dat in gemeten reflectie waarden toch redelijk veel variatie is te vinden. Deze is onafhankelijk van of de metingen met invloed van strooilicht of in volledige verduistering. De metingen zijn lager voor de sensoren aan de uiteinden van de spuitboom. Voor de andere referentie vlakken is dit effect minder duidelijk zichtbaar.



Figuur 3. Reflectie in rode band van zes Greenseeker sensoren onder verschillende meet condities en verschillende referentie panelen.



Figuur 4. Reflectie in NIR band van zes Greenseeker sensoren onder verschillende meet condities en verschillende referentie panelen.

## Hoe verder

Om tot een goede beoordeling van de vergelijkbaarheid tussen sensoren te komen dienen aanvullende experimenten te worden uitgevoerd. Hiervoor moeten in eerste instantie een aantal praktische problemen te worden uitgevoerd:

- Van de sensoren zouden zoveel mogelijk de basis reflectie metingen moeten kunnen worden gemeten;
- Wanneer dit niet mogelijk is zouden aanvullende referentie materiaal moeten worden gekozen die in voor de gemeten indices een duidelijk range geven;
- Zowel metingen in verduisterde omgeving als ook in buitenlicht condities om effect van aanvullende licht inval te kunnen beoordelen.



## BIJLAGE 2. Verslag bespreking 28 March 2012, PPO Lelystad

**Onderwerp: Sensor test met Jim Wilson (SoilEssentials Ltd) met David van der Schans (PPO), Petra van Vliet (BLGG) Mijno van Dijk en Jacob van den Borne.**

*Verslag Margreet Lamain*

Question 1: could the confusion about different scanning results have been a consequence of the fact that sensors were calibrated in the crop instead of on bare soil?

Petra van Vliet suggests that sensors belonging to one set should all be calibrated at the same time and not one by one under different circumstances.

Jim Wilson shows a table with last week's calibration results of over twenty Crop Circle sensors (added as page 3). For the individual channels the maximum values should be 1. Over time this value will probably fall back. This will only be a problem if the values per channel within a complete set fall back in a different pace (as long as all three get lower by the same percentage, the indices will not be affected). Recalibration is recommended every year. A farmer who has doubts about his scans could use metallic tape to do the check (lowest value) himself. Or use the sensors on a piece of black soil and then check the NDRI or the NDVI. Sensors should be mounted in the middle of the potato row. The Red band is causing most problems with soil correction, Red Edge and NIR measure values which are beyond the soil reflection frequency. Checking the maximum value may be somewhat more complicated.

Question 2: how come that different sensors give different outcomes for NDVI and WDVI?

The CropScan (passive sensor) is used by PPO as a standard sensor. Yara (passive as well) gives a good correlation with CropScan results. The other sensors are active, probably this is part of the problem.

Greenseeker has a very bad correlation, CropCircle is OK. Probably the height above the crop has something to do with this. An active sensor could be compared with a torch: when it is close to the eye, the light has more impact than when it is farther away. This might give the impression that an passive sensor would be a better choice. However, the light in active sensors affects every band in the same way, so that the indices stay the same. Height does not make a difference for NDVI but it does for WDVI. Testing whether the result of two sensors in a set is the same: scan a piece of carpet – it is just not sure of what colour (brown?) – and make sure that the sensors are equally high above the object.

Some farmers have their field scanned and then take one sample of the worst part and one sample on the best spot. They base the average advice on the samples and the spreading of the product on the scan. For Jacob, who uses many different (rented) fields, this is a practical way to work. Sensor based real time applications may be tricky because the farmer has no input anymore. Real time applications look very attractive to farmers, however, because they make life easier. Jim is very much in favour of a two-step system: make the map first and apply the fertilizer or fungicide later. Sensors are OK, but there are too many external factors which influence the result. David would be happy if he could get a protocol for the calibration of sensors, as there are seven sets of sensors in use in PPO's environment. David will make a first version of such a protocol and send it to Jim for correction.

N-content = % of N in biomass. According to Jim this is vital for optimal production. David states that last year this idea has not turned out too well for potatoes; a rich crop may contain a low percentage and a poor crop may contain a high percentage, but obviously it is the total N that gives the best information. It has also been found that sensor based N-advice goes OK from emergence until 100% soil cover. As soon as the crop starts to fall down (either because of storm or rain or age) it does not work anymore<sup>1</sup>.

A question still to be answered is whether sensors of different brands can be compared. It could very well be that every sensor has its own characteristics and that comparison of the different indices is too much asked.

There will be a new hand held sensor on the market shortly, the Rapid Scan CS-45 (see <http://hollandscientific.com>). It can show indices immediately in the field.

---

<sup>1</sup> <http://www.pplnl.nl/Portals/0/Documenten/Resultaten/017%20PPL%20eindrapportage%20adviesregel.pdf>

