



Precisietechnologie Tuinbouw: PPS Autonoom onkruid verwijderen

Eindrapportage

Jochen Hemming, Pieter Blok en Jos Ruizendaal

Rapport WPR-750

Referaat

Werkpakket 2 van het programma Precisie technologie Tuinbouw richt zich op autonoom onkruid verwijderen. Dit eindrapport omvat vier deliverables: D2.1 Module herkenning rode sla operationeel, D2.2 Module rechtgeleiding op basis van vision gereed, D2.3 Schoffelmachine voor meer dan 8 gewasrijen en D2.6 Actuator voor bestrijden onkruiden bij volveldsgewassen. D2.1 rapporteert de ontwikkeling van een software algoritme voor extra kleur segmentatie. Met dit algoritme is het mogelijk om ook niet groen gekleurde planten, zoals rode sla, adequaat te detecteren en te onderscheiden van onkruiden. Voor D2.2 is een standalone module voor rechtgeleiding voor het schoffelen tussen de rij ontwikkeld. De verschillende hardware en software componenten worden beschreven. D2.3 is de uitbreiding in hardware en software om met de IC-cultivator maximaal 24 gewasrijen tegelijk te kunnen schoffelen. Voor D2.6 is onderzoek uitgevoerd naar de verschillende robotarmen om een end-effector naar de juiste plek te bewegen voor onkruidbestrijding in volveldsgewassen. Hierin zijn verschillende armen vergeleken, waarmee de maximale rijnsnelheid berekend kan worden bij een opgegeven onkruiddruk in het gewas. Ook is een testmachine met een x-z positioneerunit gerealiseerd voor het bestrijden van volveldsgewassen. Het hoofdstuk publicaties en media geeft en overzicht over de disseminatie van de projectresultaten gedurende de hele looptijd van het project.

Abstract

Work package 2 of the Precision Technology Horticulture program focuses on autonomous weed removal. This final report contains four deliverables: D2.1 Module for recognition of red lettuce, D2.2 Vision based crop row guidance module, D2.3 Machine for hoeing more than 8 crop rows simultaneously, and D2.6 Actuator for controlling weeds in full field crops. D2.1 reports on the software for an extra colour segmentation algorithm that has been added to the Steketee IC-cultivator. With this algorithm it is possible to adequately detect and distinguish non green plants, such as red lettuce, from weeds. For D2.2 a standalone module for crop row guidance for hoeing between the row has been developed. D2.3 describes is the extension in hardware and software that makes it possible to hoe up to 24 crop rows simultaneously. For D2.6, research has been conducted into different robotic arms to move the end effector to the right spot for weed control in full field crops. Different arms are compared and the maximum possible driving speed was be calculated. A test device for full field weed control was build based on a x-z position unit. The chapter publications and media provides an overview of the dissemination of the project results throughout the duration of the project.

Rapportgegevens

Rapport WPR-750

Projectnummer: 3742187700

DOI nummer: 10.18174/442083

Disclaimer

© 2018 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

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

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

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Samenvatting | 5 |
| 1 | Inleiding | 7 |
| 2 | Projectplan | 9 |
| 3 | D2.1 Module herkenning rode sla operationeel | 11 |
| | 3.1 Beeldalgoritme rode sla | 11 |
| | 3.2 Gebruikersinterface | 12 |
| | 3.2.1 Aanpassing interface voor het kleur algoritme | 12 |
| | 3.2.2 Onderzoek naar interactieve multi-kleur selectors | 13 |
| | 3.2.2.1 GrabCut algoritme | 13 |
| | 3.2.2.2 FloodFill algoritme | 15 |
| | 3.3 Resultaten in praktijk | 16 |
| 4 | D2.2 Module rechtgeleiding op basis van vision gereed | 21 |
| | 4.1 Hardware | 21 |
| | 4.1.1 Camera | 21 |
| | 4.1.2 Hoeksensor en hefsensor | 22 |
| | 4.1.3 Meeloopwiel met triggerpunten | 22 |
| | 4.1.4 Hydraulische sideshift actuator | 23 |
| | 4.1.5 PC met touchscreen | 23 |
| | 4.1.6 EPEC control unit | 23 |
| | 4.2 Software | 24 |
| | 4.3 Prototype | 25 |
| 5 | D2.3 Schoffelmachine voor meer dan 8 gewasrijen | 27 |
| | 5.1 Hardware | 27 |
| | 5.1.1 Camera's | 28 |
| | 5.1.2 EPEC control unit | 28 |
| | 5.1.3 Embedded PC | 28 |
| | 5.2 Software | 29 |
| | 5.3 Meer dan 8 camera's per PC | 29 |
| | 5.4 Aansturing van meerdere actuatoren per PC | 30 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6 | D2.6 Actuator voor bestrijden onkruiden bij volveldsgewassen | 31 |
| 6.1 | Robotarm voor de verplaatsing van een actuator voor de bestrijding van volveldsonkruid | 31 |
| 6.1.1 | Robotarm (6 DOF) | 31 |
| 6.1.2 | SCARA robot | 32 |
| 6.1.3 | Delta robot | 33 |
| 6.2 | Parameters voor model | 33 |
| 6.2.1 | [A] Onkruiddruk | 33 |
| 6.2.2 | [B] Aantal armen | 34 |
| 6.2.3 | [E] Elektrocutie tijd | 34 |
| 6.2.4 | [G] Snelheid arm | 34 |
| 6.2.5 | Gevoeligheid berekening | 35 |
| 6.3 | Conclusie robotarmen | 35 |
| 6.4 | Conceptstudie volvelds actuatie | 36 |
| 7 | Publicaties en media | 39 |
| 7.1 | YouTube | 39 |
| 7.2 | Nieuwsberichten en internetartikelen | 39 |
| 7.3 | Vakbladen | 40 |
| 7.4 | Beurzen | 40 |
| | Literatuur | 41 |

Samenvatting

Dit rapport legt verslag van de werkzaamheden die tussen januari 2014 en december 2017 zijn uitgevoerd in het onderzoeksproject "autonoom onkruid verwijderen". Dit project is als privaot publieke samenwerking (PPS) tussen Steketee machinefabriek BV en Wageningen University & Research binnen het programma Precisietechnologie Tuinbouw uitgevoerd. Dit eindrapport omvat vier deliverables: D2.1 Module herkenning rode sla operationeel, D2.2 Module rechtgeleiding op basis van vision gereed, D2.3 Schoffelmachine voor meer dan 8 gewasrijen en D2.6 Actuator voor bestrijden onkruiden bij volveldsgewassen. D2.1 rapporteert de ontwikkeling van een software algoritme voor extra kleur segmentatie. Met dit algoritme is het mogelijk om ook niet groen gekleurde planten, zoals rode sla, adequaat te detecteren en te onderscheiden van onkruiden. Het ontwikkelde algoritme succesvol is in de huidige IC-software geïmplementeerd en in praktijkproeven getest. Verder is er literatuuronderzoek gedaan naar gebruiksvriendelijke methoden om de kleur van planten interactief door de gebruiker te laten leren, ook voor planten die meerdere kleuren bevatten. De twee onderzochte algoritmes (GrabCut en FloodFill) bleken echter niet geschikt voor een implementatie omdat er voor een correcte werking te veel gebruikersinteractie nodig is. Voor D2.2 is een standalone module voor rechtgeleiding voor het schoffelen tussen de rij ontwikkeld. De verschillende hardware en software componenten worden beschreven. Een prototype is gebouwd en eerste testen onder buitenlichtomstandigheden zijn succesvol uitgevoerd. Tegenwoordig biedt Steketee een commercieel module onder de naam "IC-light" aan, dat op de hier beschreven technologie gebaseerd is. D2.3 is de uitbreiding in hardware en software om met de IC-cultivator maximaal 24 gewasrijen tegelijk te kunnen schoffelen. De eerdere versie kon maximaal 8 rijen parallel schoffelen. Een ingrijpend software en hardware redesign was voor deze uitbreiding nodig. Was het voor de 8rijer machine mogelijk de actuatoren met één low-level controller (EPEC) aan te sturen, kunnen in het nieuwe ontwerp tot 4 EPEC controllers (1 per 8 rijen + 1 master controller) door 1 high-level PC worden aangestuurd. Ook het hardware ontwerp van de machine is aangepast door aan beide zijden hydraulisch opklapbare elementen toe te voegen voor het wegtransport. Voor D2.6 is onderzoek uitgevoerd naar de verschillende robotarmen om een end-effector naar de juiste plek te bewegen voor onkruidbestrijding in volveldsgewassen. Hierin zijn verschillende armen vergeleken. Met behulp van een ontwikkelt rekenmodel kan de maximale rijnsnelheid berekend kan worden bij een opgegeven onkruiddruk in het gewas. D2.6 bevat ook een conceptstudie en de beschrijving van een testmachine voor volvelds actuatie gebaseerd op een x-z positioneerunit. Het hoofdstuk publicaties en media geeft en overzicht over de disseminatie van de projectresultaten gedurende de gehele looptijd van het project. Bij het project horen nog twee additionele deliverables over die hier niet wordt gerapporteerd, D2.4: Literatuurstudie spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden en D2.5: Lab en veld experimenten spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden. Deze twee deliverables worden beschreven in een apart rapport.

1 Inleiding

Binnen de uitvoeringsagenda van de topsector tuinbouw en uitgangsmaterialen (T&U) is één van de speerpunten onderzoek naar arbeid en arbeidsomstandigheden door automatisering en robotisering. In dit kader is in 2014 het programma precisietechnologie tuinbouw van start gegaan. Werkpakket 2 binnen dit programma richt zich op autonoom onkruid verwijderen.

De huidige praktijk binnen de biologische teelt van gewassen is dat veel handarbeid nodig is om onkruid uit de gewasrij en uit volvelds gezaaide gewassen te verwijderen. Dit is een ongewenste situatie, die veel arbeid, tijd en geld kost. Steketee Machinefabriek is in 2007 in samenwerking met Wageningen University & Research begonnen een automatische intrarij wiedzmachine te ontwikkelen. In 2010 volgde de marktintroductie van de eerste versie van deze zogenaamde "IC-cultivator" en is over de afgelopen jaren steeds verder door ontwikkeld. De machine kan met beeldverwerking onkruid en gewasplanten van elkaar onderscheiden en werkt in op regelmatige afstand geplante of gezaaide gewassen zoals bijv. sla, kool en suikerbieten.

De technologie ontwikkeld voor deze machine biedt perspectief voor een bredere markt als daarbij passende algoritmes voor herkenning en actuatie ontwikkeld worden. Steketee ziet marktkansen voor:

1. Intra-rij schoffelen in gekleurde gewassen zoals rode sla.
2. Een eenvoudiger machine vision gebaseerd rechtgeleiding module voor precisie schoffelen tussen de gewasrijen.
3. Een intra-rij schoffelmachine met grotere werkbreedte. De huidige machine kan maximaal 8 plantenrijen tegelijk meten en schoffelen.
4. Onkruidherkenning en automatisch wieden in volvelds gewassen gezaaid op bedden zoals spinazie.
5. Intrarij wieden in uien en peen.

Om de marktkansen te benutten moeten met wetenschappelijk onderzoek algoritmes voor onkruidherkenning ontwikkeld worden. Deze algoritmes zijn echter alleen van waarde voor de machines in de praktijk als deze ook gedegen getest worden in praktijkproeven. Daarom is voorzien dat naast de ontwikkeling van de algoritmes deze ook geïmplementeerd en getest worden in praktijkproeven samen met Steketee Machinefabriek.

In het projectplan 2014-2017 voor werkpakket 2 is een takenpakket gedefinieerd dat verder in dit rapport gedetailleerd wordt beschreven. De resultaten van dit onderzoek zijn een gevolg van de samenwerking tussen



Machinefabriek Steketee BV
Lieve vrouwepoldersedijk 1A Stad aan 't Haringvliet
www.steketee.com
Contact: Lauwrens Struik (lauwrens@steketee.com)



Wageningen University & Research
Business Units Glastuinbouw en Agrosysteemkunde
Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
Contact: Jochen Hemming (jochen.hemming@wur.nl)

2 Projectplan

Het projectplan bij start van het project in januari 2014 kende de volgende taken:

- T2.1 Ontwikkeling module herkenning rode sla.
- T2.2 Ontwikkeling module rechtgeleiding.
- T2.3 Ontwerp optica, beeldacquisitie en robotmanipulatie ui, peen en volvelds gezaaide gewassen.
- T2.4 Realisatie sensorsysteem en robotmanipulatie ui, peen en volvelds gezaaide gewassen.
- T2.5 Testen en demonstreren.

In 2014 is er met goed resultaat en conform het projectplan gewerkt aan T2.1 en T2.2 en T2.3. Door nieuwe inzichten en marktontwikkelingen is het projectplan 2015-2017 begin 2015 bijgesteld zodat het beter aansluit bij de nieuwste ontwikkelingen. Er was veel vraag vanuit de markt na een intra-rij schoffelmachine met grotere werkbreedte. De toenmalige Steketee IC machine kon maximaal 8 plantenrijen tegelijk meten en schoffelen. Het nieuwe doel was om een machine voor maximaal 24 rijen te ontwikkelen. Recente hardware en software ontwikkelingen op het gebied van hyper- en multispectrale camera's boden nieuwe kansen voor een nog betere detectie van onkruiden tussen gewasplanten. Dit is met name belangrijk voor het wieden in volvelds gewassen omdat hier geen gebruik kan worden gemaakt van de bekende geometrie van de gewasplantpositie. In het aangepaste onderzoeksplan werden de taken voor deze nieuwe onderzoeksvragen expliciet opgenomen. Dit plan heeft de volgende taken:

- T2.1 Ontwikkeling module herkenning rode sla.
- T2.2 Ontwikkeling module rechtgeleiding.
- T2.3 Ontwerp schoffelmachine voor meer dan 8 gewasrijen.
- T2.4 Realisatie schoffelmachine voor meer dan 8 gewasrijen.
- T2.6 Onderzoek naar spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden.
- T2.7 Veldexperiment spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden.
- T2.7 Ontwerp actuator voor bestrijden onkruiden bij volveldsgewassen.
- T2.8 Testen en demonstreren.

En de volgende deliverables:

- D2.1 Module herkenning rode sla operationeel.
- D2.2 Module rechtgeleiding op basis van vision gereed.
- D2.3 Schoffelmachine voor meer dan 8 gewasrijen.
- D2.4 Literatuurstudie spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden.
- D2.5 Lab en veldexperimenten spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden.
- D2.6 Actuator voor bestrijden onkruiden bij volveldsgewassen.
- D2.7 Rapportage testresultaten en iteratieslagen.



Figuur 1 Gantt-chart van het aangepaste projectplan 2015-2017.

Deliverables D2.1, D2.2, D2.3, D2.6 zijn in dit rapport beschreven, de testresultaten incl. iteratieslagen (D2.7) zijn steeds in de onderliggende deliverables beschreven.

Deliverables D2.4 en D2.5 zijn beschreven in een apart rapport (Pieter Blok, Jochen Hemming, Henk-Jan Holterman, Jean-Marie Michielsen Jos Ruizendaal (2018): Precisie technologie Tuinbouw: PPS Autonoom onkruid verwijderen, D2.4 Literatuurstudie spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden, D2.5 Lab en veldexperimenten spectrale reflectie-eigenschappen van planten en onkruiden. Glastuinbouw Rapport WPR-751, Wageningen University & Research. DOI nummer: 10.18174/442084).

3 D2.1 Module herkenning rode sla operationeel

Voor de Steketee IC-weeder is een software module ontwikkeld die op basis van rode kleur onderscheiding maakt tussen grond en gewas en dat hierop gebaseerd een schoffel actie uitvoert.

De volgende acties zijn uitgevoerd:

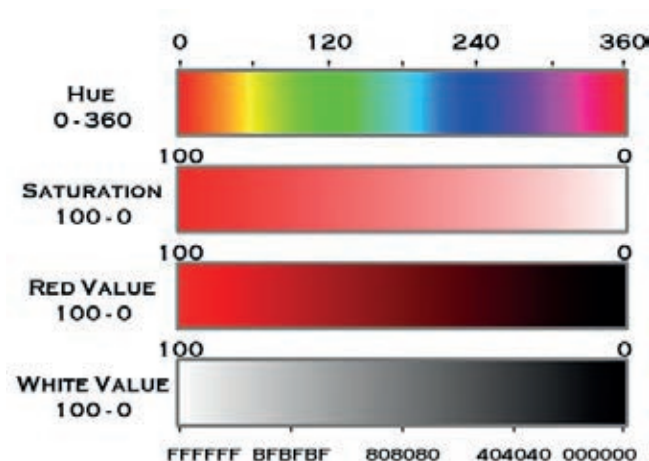
- Eerste opzet algoritme op basis van beschikbare data van proeven voor Steketee uit 2010 met een prototype machine.
- Ontwikkeling van instelbare rode kleur selectie module in de gebruikersinterface.
- Inbouwen van de kleurmodule in de huidige IC-software.
- Opnames gemaakt met de huidige IC-machine analyseren en hier het algoritme op inregelen.
- Aanpassingen na eerste gebruik van het algoritme in de praktijk.

3.1 Beeldalgoritme rode sla

In de Steketee IC-weeder is een extra kleuralgoritme ingebouwd. Het eerdere "Excessive Green¹" algoritme welke gebaseerd is op plantgroen, is uitgebreid door middel van een kleur algoritme. Met dit algoritme is het mogelijk om niet groen gekleurde planten, zoals rode sla, adequaat te detecteren en te onderscheiden van onkruiden.

Het kleur algoritme is grotendeels gebaseerd op de hue schaal. Deze schaal wordt verkregen na een omvorming (transformatie) van een rood groen blauw (RGB) kleurbeeld naar de hue saturation intensity (HSI) kleurendimensie. Nederlandse vertaling voor HSI is kleurtoon (hue), verzadiging (saturation) en intensiteit (intensity). Een voordeel van HSI is dat het sterker overeenkomt met hoe mensen kleuren detecteren.

Met de hue ben je in staat om de waargenomen kleuren, bijvoorbeeld rood, geel, groen, scherp van elkaar te kunnen onderscheiden. Dit biedt daarom veel perspectieven voor het bouwen een softwarematige kleurscheider. Met in mindere mate variaties in saturation (de helderheid van een kleur) en intensity (inmenging van wit licht in een kleur) ben je met de HSI kleurendimensie goed in staat om kleuren softwarematig van elkaar te onderscheiden.



Figuur 2 Hue saturation en intensity kleurschaal en -interpretatie.

1 Excessive Green is een kleuralgoritme die de natuurlijke groene kleur van planten "versterkt". Het algoritme wordt berekend door een RGB kleurbeeld te splitsen in individuele rode, groene en blauwe kleurbanden. Vervolgens wordt de groene kleurband verdubbeld en vanuit dit resultaat wordt zowel een rode als blauwe band afgetrokken. In formule:

$$EG = 2 \cdot G - R - B$$

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{if } B \leq G, \\ 360 - \theta, & \text{if } B > G, \end{cases}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{0.5(R - G) + (R - B)}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right),$$

$$\text{Saturation} = \frac{\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\}}{\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\}}$$

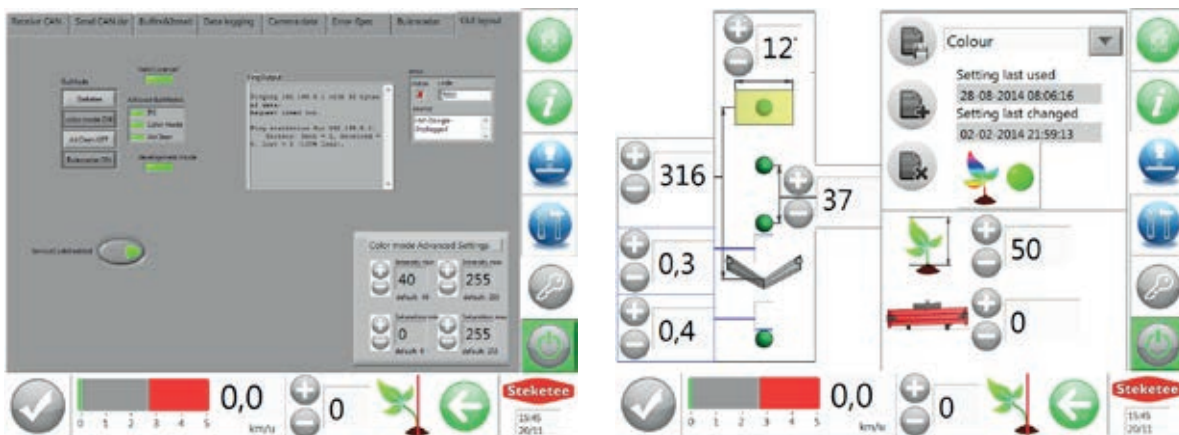
$$\text{Intensity} = \frac{1}{2} (\max\{R, G, B\} + \min\{R, G, B\})$$

Figuur 3 Omrekening van rood, groen en blauw kleurbanden naar HSI dimensie.

3.2 Gebruikersinterface

3.2.1 Aanpassing interface voor het kleur algoritme

Allereerst wordt door Steketee met behulp van een licentie-USB-dongle de "kleur module" opengesteld voor de gebruiker (linkse weergave Figuur 4).

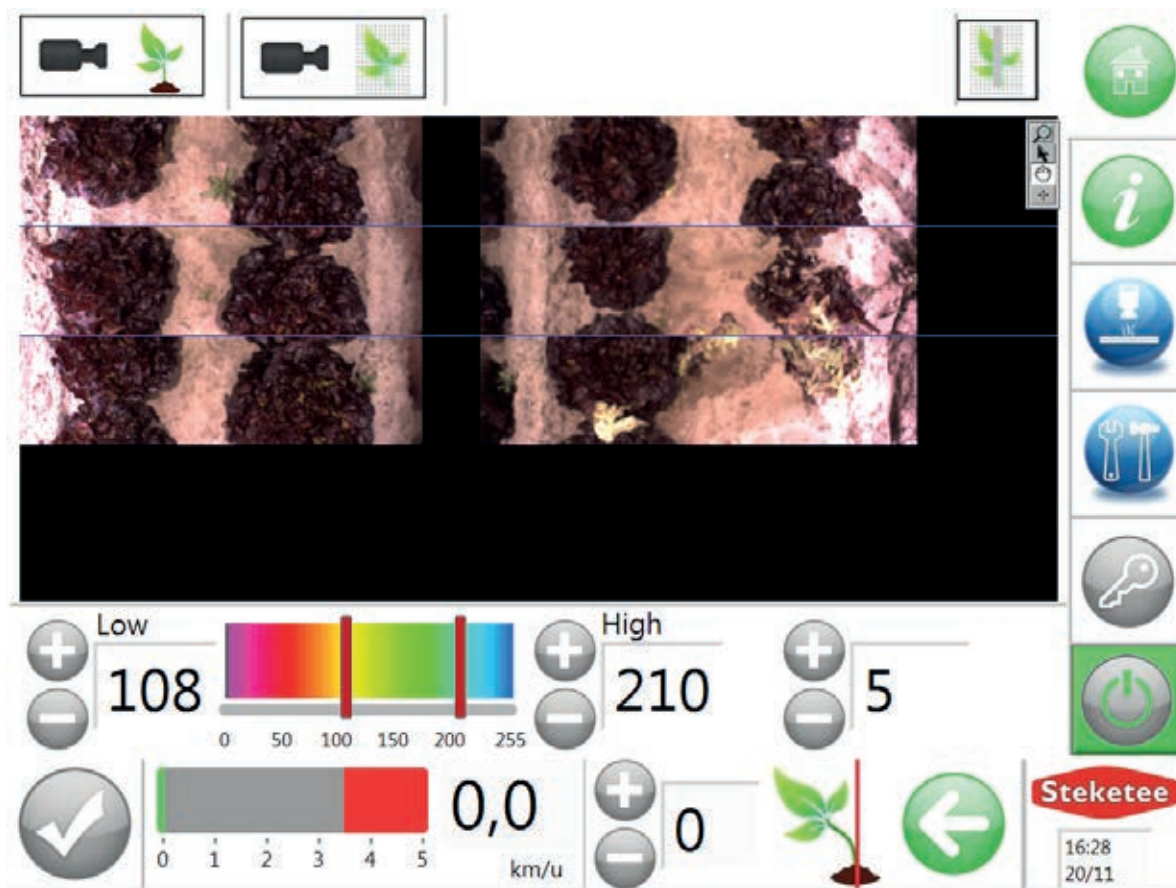


Figuur 4 Activering van de kleur module in het Steketee IC-gebruikersinterface.

Vervolgens komt er een extra knop onder de camera-instelling-tab te staan (zie rechtse weergave Figuur 4). Deze knop is door de gebruiker te activeren voor de kleur module of te deactiveren voor de oorspronkelijke Excessive Green kleuralgoritme.

Bij activatie, verandert de groene kleurselectie balk op het hoofdscherm naar een kleurselectie balk (Figuur 5). In vergelijking met , valt op dat de hue schaal anders is dan de theorie. Hier is bewust voor gekozen, omdat het de gebruiker makkelijker te maken. Wanneer we kijken naar Figuur 2 zijn er twee rode gekleurde gebieden rond de 0° en 360°. Dit maakt een goede instelling voor de gebruiker niet alleen lastig, maar ook onbegrijpelijk. Want wanneer het ene dan het andere kleurgebied kiezen?

Om dit probleem op te lossen is er een verschuiving in de software toegepast. Allereerst wordt de volledige 360° schaal fractioneel teruggebracht naar een 0-255 schaalverdeling, die gelijk is aan de groene kleurschaal. Daarna worden de twee rode delen uit de originele (terug geschaalde) hue schaal bij elkaar gevoegd, door bij elke hue-waarde 195 op te tellen. Dit houdt in praktijk in dat de mangenta scheiding naar 0 verplaatst wordt en dus de meest linkse kleur wordt in de nieuwe schaal (Figuur 5). De blauwe kleuren worden hierdoor verplaatst naar het meeste rechtse gedeelte van de schaal (Figuur 5) Als gevolg worden de twee rode delen samengevoegd tot 1 gebied.



Figuur 5 Aangepaste kleur schaal op het hoofdscherm van de Steketee IC-software.

De gebruiker kan afhankelijk van het gewas, in dit geval rode sla, de bijhorende kleur selecteren via de slider-bar of de + en – knopjes op het touchscreen.

Omdat zowel de saturation als intensity een effect hebben op de kleursegmentatie, zijn deze waarden in te stellen onder het sleutel-tabblad (zie linkse weergave Figuur 4). Deze twee waarden moeten echter door Steketee ingeregeld worden, omdat eenmaal een goede instelling is bereikt deze niet veranderd hoeft te worden door de gebruiker.

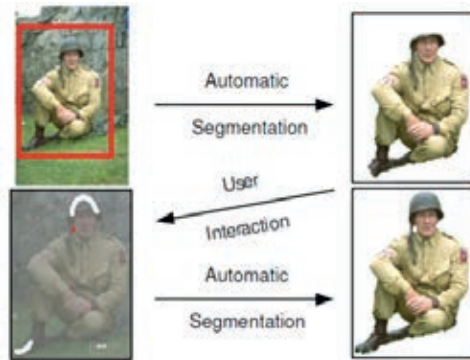
3.2.2 Onderzoek naar interactieve multi-kleur selectors

Een goede kleurinstelling is essentieel voor zowel de Excessive Green als de kleur module. In overleg met Steketee is besloten om een literatuuronderzoek uit te voeren naar gebruiksvriendelijke methoden om de kleur van planten interactief door te gebruiker te laten in leren. De belangrijkste eis is dat deze methoden beter én gebruiksvriendelijker moet werken dan de huidige software. Indien dit niet het geval is, biedt de huidige IC-software al voldoende mogelijkheden. Twee interactieve kleursegmentaties zijn onderzocht; het GrabCut algoritme en het FloodFill algoritme.

3.2.2.1 GrabCut algoritme

Het GrabCut algoritme is een interactieve tool om voorgronden in beelden automatisch te segmenteren (Rother *et al.* 2004). Dit algoritme combineert de sterke aspecten van een textuur én contrast filter. Het biedt kansen om multi-gekleurde planten snel te scheiden van kale grond (de achtergrond). Door een aantal keer met dit algoritme gekleurde planten uit te snijden kan een kleurtraining worden opgebouwd in de software. Deze kleurtraining wordt vervolgens door de software in geleerd om vervolgens (multi-gekleurde) planten te scheiden van achtergronden op basis van de kleur.

Het GrabCut algoritme werkt als volgt; de gebruiker kan interactief een rechthoek om het gewenste object tekenen, in dit geval een gekleurde plant. Het GrabCut algoritme snijdt automatisch de voorgrond, de plant, uit. Vervolgens kan de gebruiker specifieke gebieden die bij de plant horen in leren en ook gebieden die weggesneden moeten worden naar de achtergrond (Figuur 6).

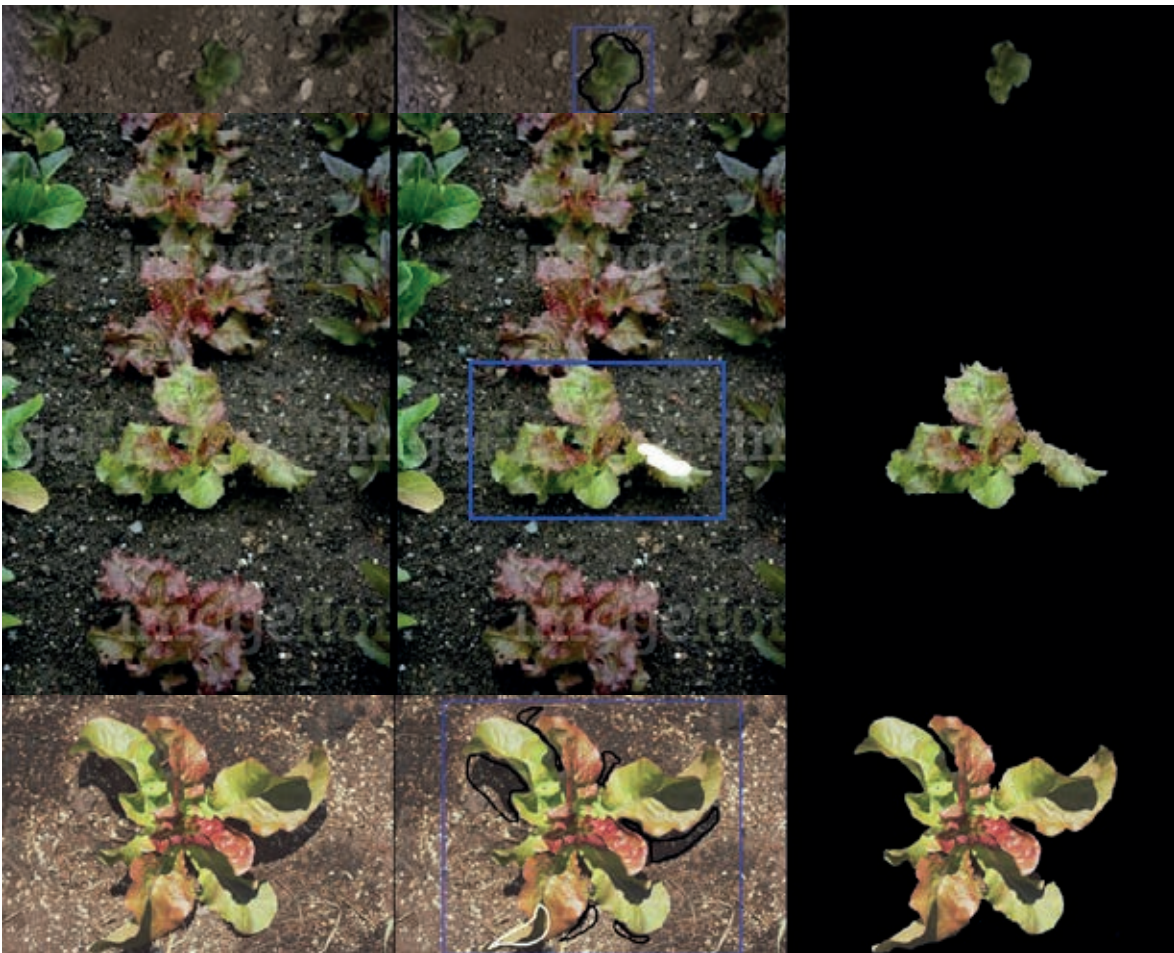


Figuur 6 Versimpelde weergave van de werking van het GrabCut algoritme.

Met duidelijke overgangen werkt het GrabCut algoritme goed en gebruiksvriendelijk, zie het rode sla voorbeeld (Figuur 7). Echter bij schaduwvormingen en minder duidelijke scheidslijnen is er meer gebruikersinterferentie (zie zwarte en witte arceringen Figuur 8) nodig om een goede voorgrond te segmenteren. Dit is niet wenselijk voor de Steketee software. Om deze reden zal dit algoritme niet worden ingebouwd, omdat het niet in alle gevallen een verbetering is t.a.v. de huidige kleurbalk-selectie.



Figuur 7 In rode sla met een sterk contrast tussen de plant en achtergrond werkt het GrabCut algoritme goed en intuïtief.



Figuur 8 In bovenstaande beelden is er veel gebruikersinterferentie (zie witte en zwarte vlakken) nodig voor een goede plantsegmentatie. Om die reden is het GrabCut algoritme niet geschikt voor de Steketee software.

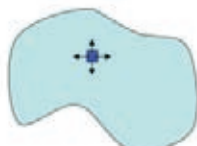
3.2.2.2 FloodFill algoritme

Het FloodFill algoritme is een interactieve manier om een gelijksoortig gebied op basis van kleur automatisch te extrapoleren (Elfring, 2013). Dit type algoritme wordt in fotobewerkingsprogramma's als Adobe Photoshop gebruikt in bijvoorbeeld de "Magic Wand" tool.

Een gebruiker kan puntsgewijs locaties aangeven waarin het FloodFill algoritme gelijksoortige en naastgelegen kleuren aan elkaar verbindt. FloodFill is een 'Seed Fill' methode waarbij een 'zaadje' (Seed Point) interactief met één muisklik in een gewenst gebied wordt geplaatst en waarbij vervolgens alle naast gelegen pixels met een gelijksoortige kleur worden verbonden. Dit gebeurt iteratief zodat vervolgens het gehele kleurgebied automatisch wordt verbonden.

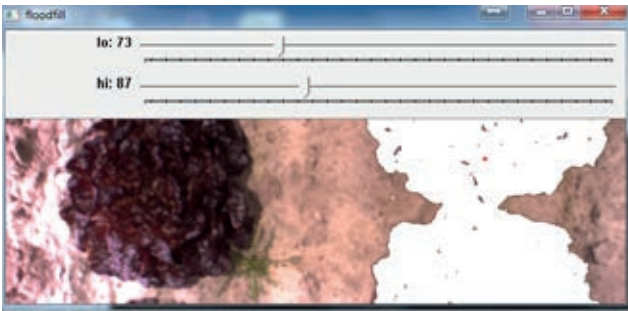
Seed Fill Algorithms

- Start with an interior seed point and grow
- Pixel-based descriptions

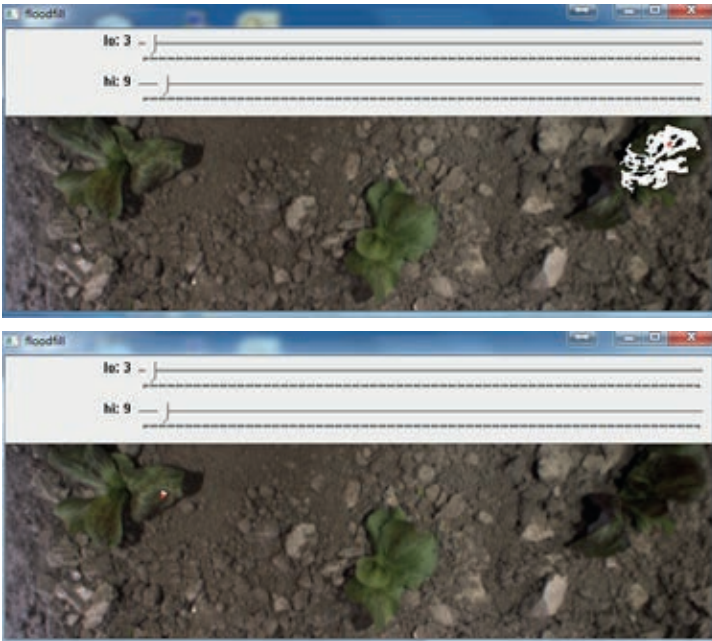


Figuur 9 Seed-Fill Algoritme.

Wederom heeft het FloodFill algoritme een goede werking bij de rode sla, omdat er een duidelijk kleurverschil tussen de plant en de achtergrond is (Figuur 10). Echter bij tweekleurige sla planten is er veel aanpassing en dus gebruikersinterferentie nodig om de juiste kleurgebieden te selecteren met het FloodFill algoritme (Figuur 11). Daarom is ook dit algoritme niet aan te raden als vervanger van de huidige Steketee IC-software.



Figuur 10 Het rode puntje is de interactieve muisklik van de gebruiker ('Seed point'). Het FloodFill algoritme verbindt vervolgens alle naastgelegen pixels met een soortgelijke kleur tot één gebied (witte selectie).



Figuur 11 Dezelfde instelling voor het FloodFill algoritme leidt tot verschillende kleurselectie's bij tweekleurige sla planten. Bij laag contrast of schaduwvorming worden achtergrond pixels door het FloodFill algoritme verbonden met de plant, wat niet wenselijk is.

3.3 Resultaten in praktijk

Om het nieuwe kleur algoritme in praktijk te testen zijn een aantal velden met rode sla geschoffeld. Op een perceel in Warmenhuizen (Noord-Holland) was de rode sla nagenoeg oogstrijp (Figuur 3-10).

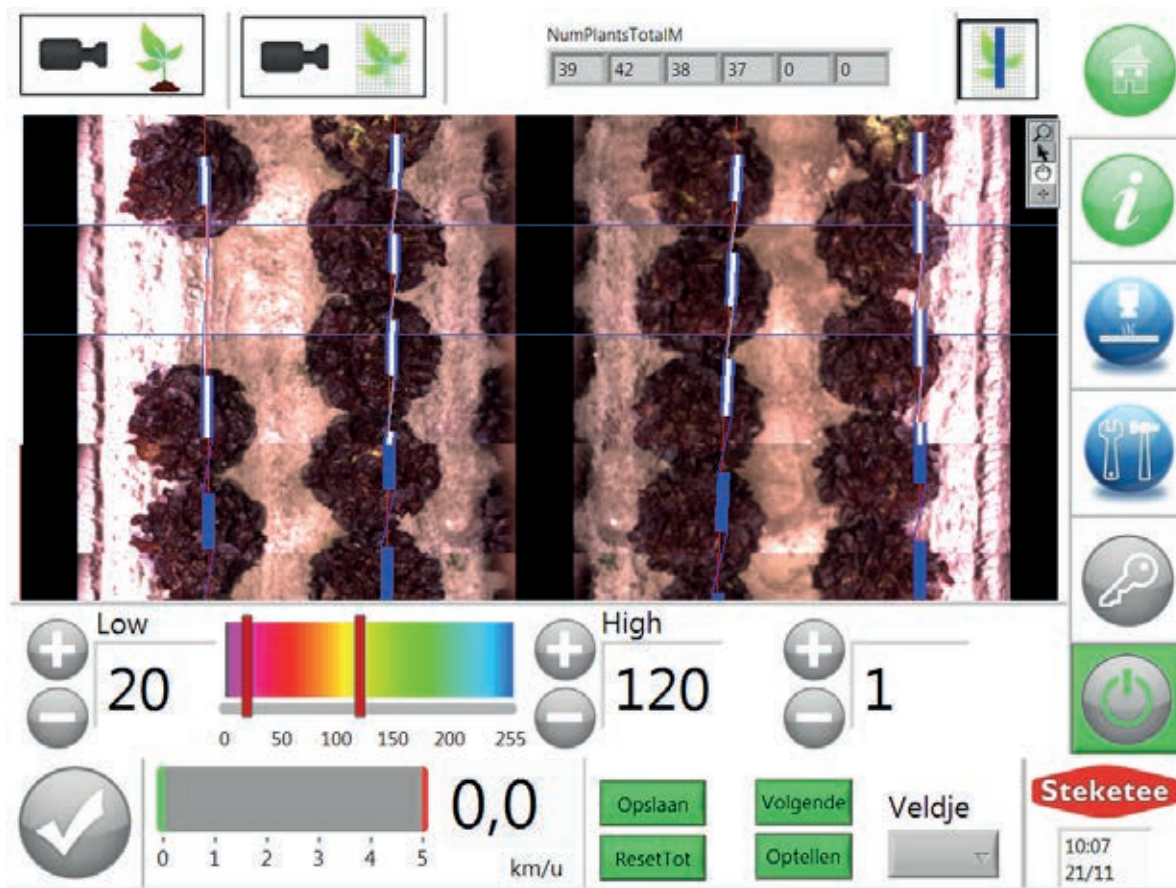


Figuur 12 Het perceel met rode sla in Warmenhuizen, Noord-Holland.

De mechanische bestrijding van de onkruiden tussen de planten ging goed met het nieuwe kleuralgoritme. Ondanks dat het perceel in Warmenhuizen nagenoeg gesloten was (planten die dicht tegen elkaar aan groeien), zijn er vrijwel geen sla planten uit geschoffeld.

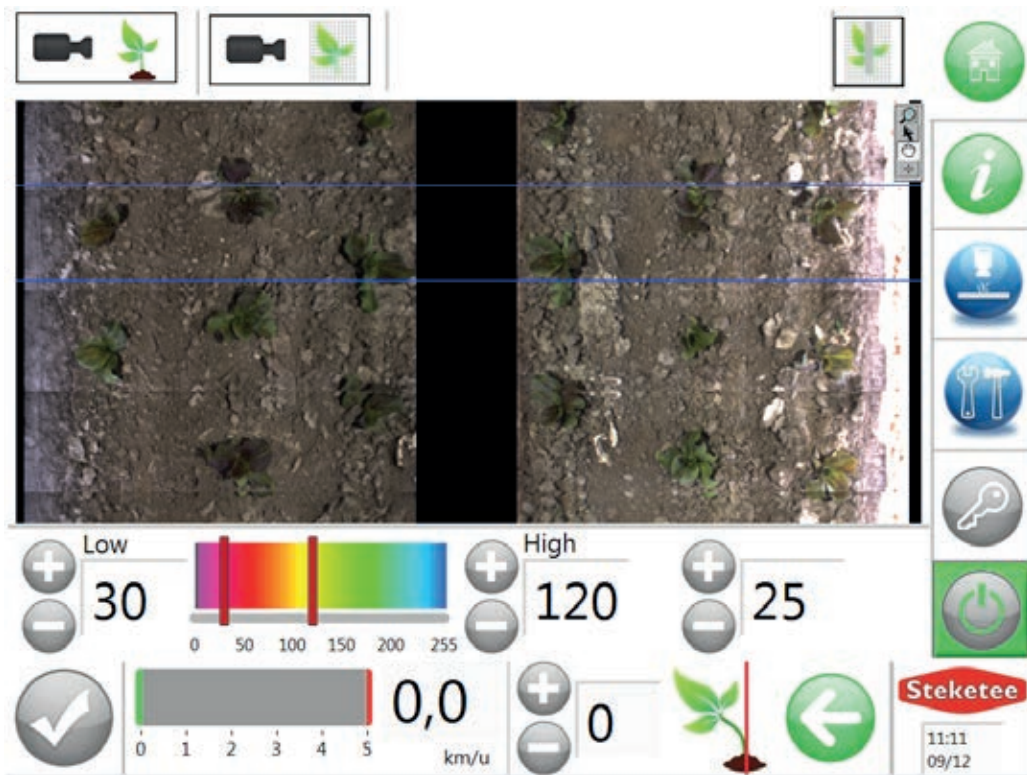
Van beide percelen zijn beelden gelogd om later te kunnen analyseren in de software. Alhoewel er vanuit de software simulatie geen schoffelactie meer ondernomen kan worden, kan wel gecheckt worden of de detectie met het nieuwe algoritme adequaat werkt. Dit kan met het plantentel-algoritme welke in de software zit ingebouwd. Wanneer de software een rode sla plant telt, is dit gelijk aan het terug trekken van de schoffels, en werkt het nieuwe algoritme goed.

Uit Figuur 13 blijkt dat het nieuwe algoritme goed in staat is om de rode sla planten te detecteren. Het beeld op het hoofdscherm is opgebouwd uit 5 "beeldsnede's". In de bovenste 3 beeldsnede's is op te merken dat de rode planten adequaat geteld en dus geschoffeld worden, omdat de software een wit vlak in de blauwe rechthoeken tekent. Dit is een indicatie van een getelde plant. Let op dat de 2 onderste beeldsnede's een dergelijk wit vlak niet meer tekenen, maar wel daadwerkelijk geteld zijn in voorgaande frames. Dit is slechts een kwestie van weergave en beeldfocus voor de gebruiker. In de meest linkse rij is te zien dat wanneer een plant mist in de rij, deze ook niet geteld en dus in praktijk geschoffeld wordt.

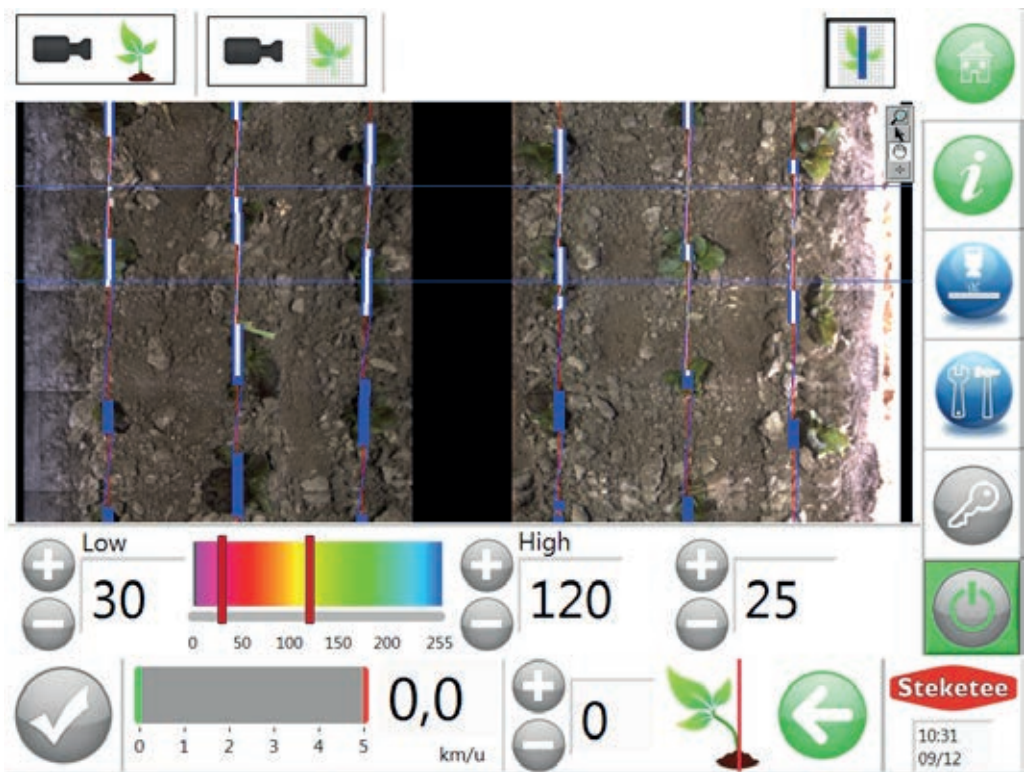


Figuur 13 Detectie van rode sla planten in de Steketee IC-software.

In Zwitserland zijn beelden opgenomen van jonge rode sla, die zowel rode als groene plantdelen hebben. Ondanks dat het beeldalgoritme moeite heeft met de overbelichting in het rechtse beeld, zijn deze dubbelgekleurde planten toch goed te detecteren en schoffelen met het kleur algoritme. In het geval van overbelichting zijn met name de instellingen van saturation en intensity erg belangrijk.



Figuur 14 Jonge rode sla planten, opgenomen op een perceel in Zwitserland, ingeladen in de Steketee IC-software. Met name de overbelichting in het rechtse beeld geeft wat problemen bij de uiteindelijk segmentatie.



Figuur 15 Detectie van de individuele planten door de Steketee IC-software. De kleur module is goed in staat om de tweekleurige planten te detecteren.

4 D2.2 Module rechtgeleiding op basis van vision gereed

Een onderdeel van de IC-cultivator is een rechtgeleiding module (sideshift module), die met behulp van de camerabeelden de schoffel exact boven de gewasrijen positioneert. Steketee wil als vervanging van de huidige ECO-Dan modules / Claas Eye Drive een eigen module voor alleen rechtgeleiding als los product op de markt brengen. In 2014 is er binnen dit project onderzoek gedaan aan een standalone module voor rechtgeleiding voor het schoffelen tussen de rij. Voor het module rechtgeleiding zijn verschillende zijn verschillende mogelijkheden bediscuteerd. Deze discussies hebben geleid tot de volgende aanpak:

- Een enkele kleurencamera die op het schoffelelement gemonteerd wordt en die schuin na voren (in rijrichting) kijkt.
- Alleen gebruik maken van het natuurlijke licht, geen artificiële verlichting.
- Hoeksensor voor positiebepaling schoffel.
- Hefsensor.
- Meeloopwiel met triggerpunten om rijsnelheid te kunnen bepalen.
- Hydraulische sideshift actuator.
- Industrial en fanless mini PC met Windows 7 en Labview.
- Touchscreen voor weergave camerabeelden en bediening module.
- EPEC control unit voor inlezen sensorwaardes en voor aansturen actuator.

4.1 Hardware

4.1.1 Camera

De gebruikte camera is van het merk Allied Vision, type Mako G-125C (Figuur 16). Deze camera heeft een 1/3" CCD kleuren Bayer sensor en heeft een Ethernet interface. De camera kan met Power over Ethernet (PoE) gevoed worden. De prijs van deze camera is ca. € 450.



Figuur 16 Allied Viison MAKO G-125C PoE AVT 1/3" Color camera.



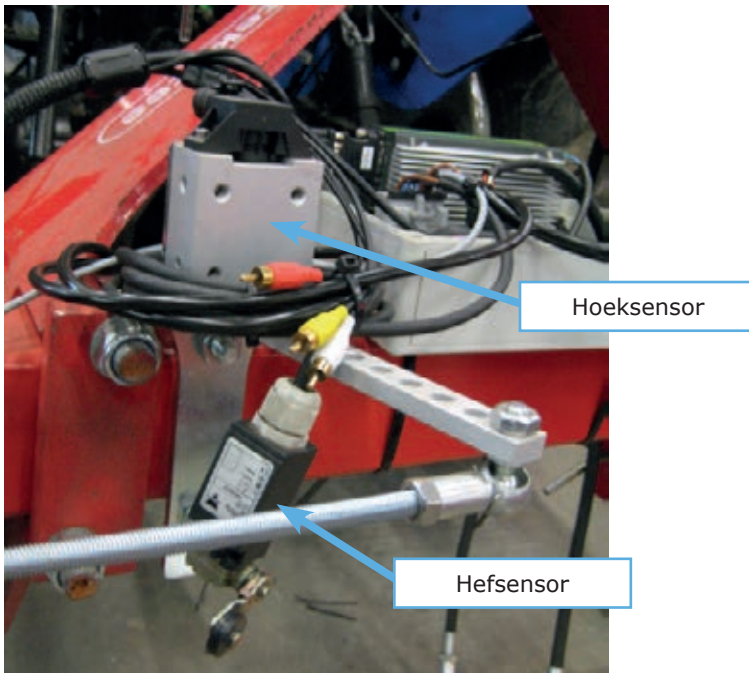
Figuur 17 Testopstelling met camera gemonteerd aan frame.

Voor het ontwikkelen van het module rechtgeleiding is de camera voorzien van een lens met instelbaar brandpunt, merk KOWA 4,4-11/F1.6 (€ 250).

Figuur 17 laat zien hoe de camera aan het schoffelelement is bevestigd.

4.1.2 Hoeksensor en hefsensor

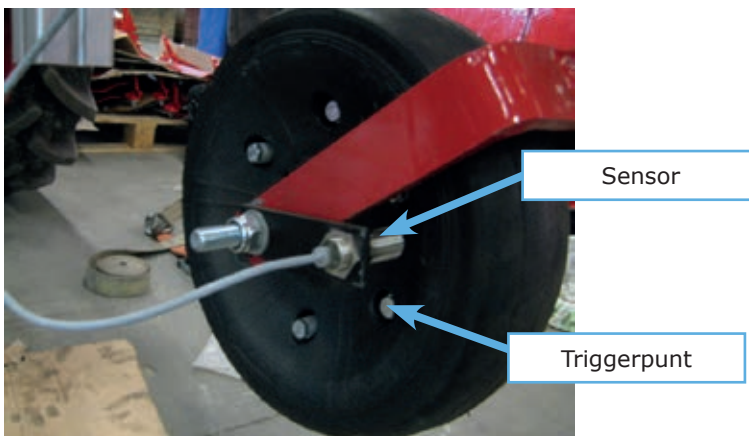
Om te kunnen bepalen of de schoffel in werking is wordt er gebruik gemaakt van een hefsensor. Een hoeksensor meet de horizontale positie van de schoffel. Beide sensoren worden door het EPEC module uitgelezen.



Figuur 18 Hoeksensor en hefsensor.

4.1.3 Meeloopwiel met triggerpunten

Om de rijnsnelheid te kunnen bepalen wordt een meeloopwiel met een 6tal metalen triggerpunten gebruikt. Ook deze sensor wordt door het EPEC module uitgelezen.



Figuur 19 Meeloopwiel met triggerpunten.

4.1.4 Hydraulische sideshift actuator

Voor het positioneren van de schoffel wordt gebruikt gemaakt van dezelfde actuator dan bij de IC schoffel: een cilinder die aangesloten is op de hydrauliek van de trekker die een parallellogram beweegt.



Figuur 20 Sideshift actuator.

4.1.5 PC met touchscreen

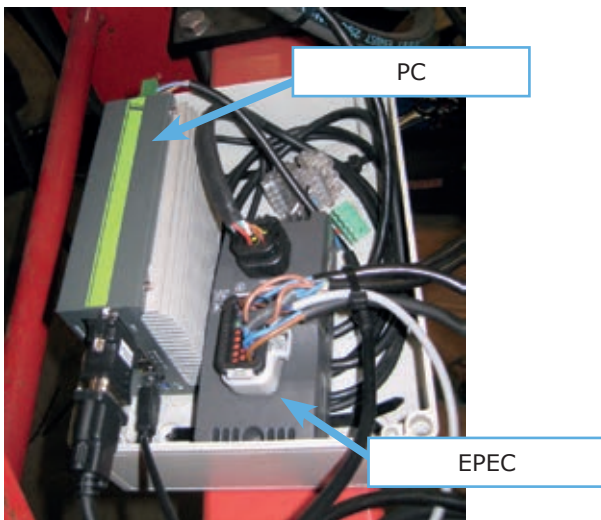
Voor de bediening met een graphical user interface (GUI) en als high-level controller is gekozen voor een embedded Fanless Atom Quad Core E3845 PC System (ca. € 900). Deze PC wordt gevoed met 12 V en kan in een breed temperatuurbereik worden ingezet (-20°C~70°C operating temperature). Als besturingsstelsel is gekozen voor Windows Embedded Standard 7. Deze PC beschikt over twee GigEthernet porten waar de camera direct op kan worden aangesloten. Ook een serieel RS232 interface voor de koppeling met de EPEC controller is beschikbaar. Als monitor is een 10,4" IP65 VGA touch-screen (ca. € 550) aangeschaft.



Figuur 21 MA-E3845/4G/64G/POC-200 Fanles Vision PC.

4.1.6 EPEC control unit

Voor het inlezen van de sensorwaarden en voor het aansturen van de actuator wordt net als in andere producten van Steketee gebruikt gemaakt van een control unit van het merk EPEC (<http://www.epec.fi/>). Steketee werkt hiervoor nauw samen met Bram Engineers. De verbinding tussen low-level (EPEC) en high-level (PC) controller is gerealiseerd met een seriële RS232 verbinding.



Figuur 22 EPEC control unit met PC ingebouwd in een proefopstelling.

4.2 Software

De software voor deze applicatie is in opdracht van Steketee en met advies van Wageningen University & Research ontwikkeld door TK-AgroTech (Groeneweg 1a, 4317 PV Noordgouwe, www.TK-AgroTech.nl, Contact: Tim Kool tim@tk-agrotech.nl)



Uitgaand van de goede ervaringen met de software voor de IC-Cultivator is besloten om ook voor het rechtgeleidingmodule gebruik te maken van LabVIEW software (National Instruments, <http://www.ni.com/labview/>).

De werkwijze van de software is:

- Camerabeeld opnemen.
- Gekalibreerd rechttrekken camerabeeld n.a.v. de schuin na voren gerichte camera.
- Scheiden achtergrond en plantmateriaal in het beeld met ExGreen algoritme.
- Softwarematig over elkaar leggen van de verschillende rijen in beeld.
- Berekenen positie en verloop van plantenrij d.m.v. Hough transformatie.
- Berekenen afwijking huidige positie t.o.v. doel positie, rekening houden met rijnsnelheid.
- Uitsturen doel positie aan EPEC controller.
- Actuatie sidshift cilinder.

Figuur 23 toont een screenshot van het huidige, nog in ontwikkeling zijnde GUI.



Figuur 23 Screenshot van het user interface met live camerabeeld.

Aandachtspunten in de software zijn: snelle cyclustijd, robuuste beeldanalyse bij wisselende lichtomstandigheden en schaduwen en eenvoudige bediening.

4.3 Prototype

Figuur 24 laat het geïntegreerde prototype van het module rechtgeleiding zien. De eerste testen onder buitenlichtomstandigheden zijn succesvol uitgevoerd.



Figuur 24 Geïntegreerde prototype van de module rechtgeleiding.



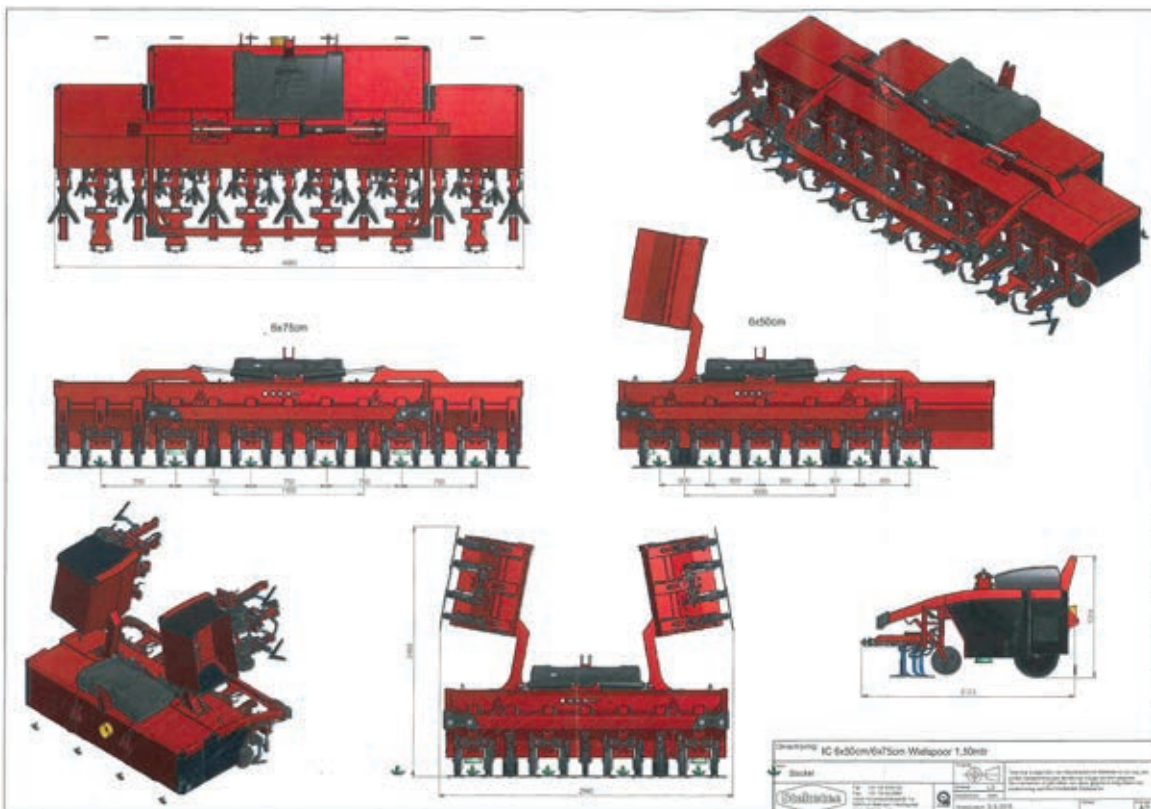
Figuur 25 Testen van de module.

5 D2.3 Schoffelmachine voor meer dan 8 gewasrijen

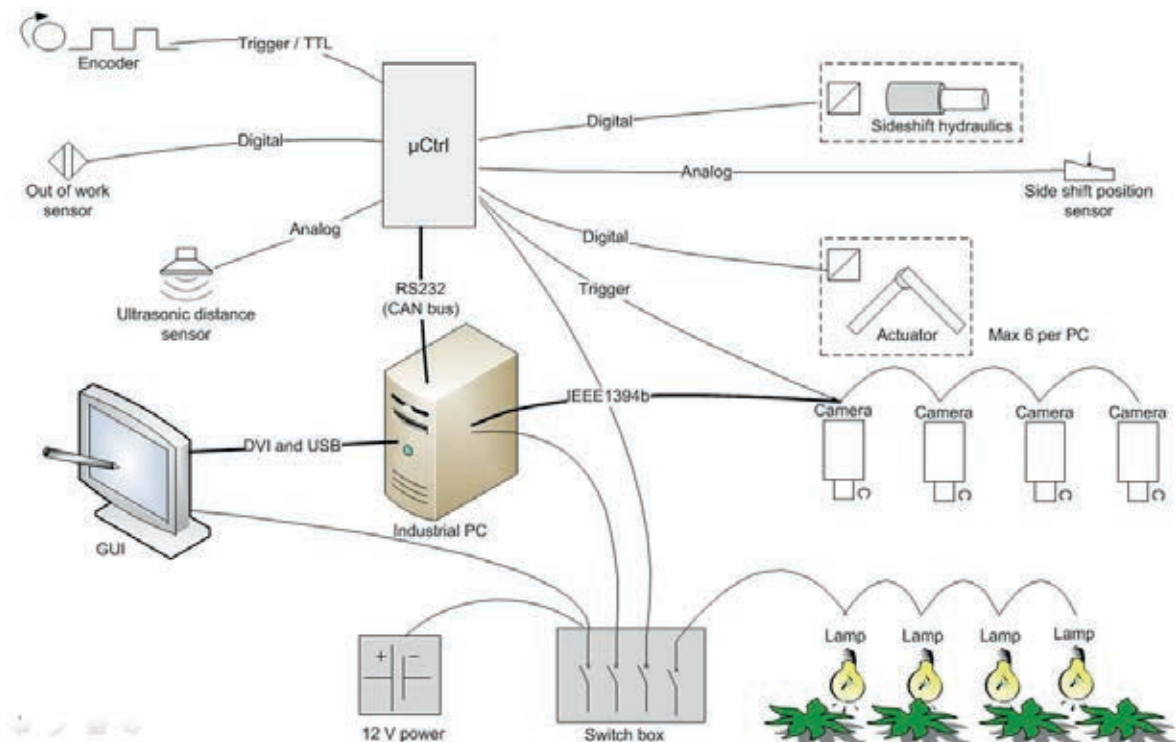
De huidige Steketee IC intra-rij schoffelmachine kan maximaal 8 gewasrijen tegelijk meten en schoffelen. Dit komt doordat de softwarematige datastructuur, die van de embedded PC naar de EPEC microcontroller wordt gestuurd, gebaseerd is op bytes. 1 byte staat gelijk aan 8 bits en dus 8 rijen. Ook kan de huidige software maximaal 4 camera's aansturen. Bij meer dan 8 plantenrijen zijn meer camera's nodig. Steketee wil graag een 24-rijige IC machine aanbieden. Hiervoor zijn minimaal 10 camera's nodig. De huidige Firewire 1394b interface kaart van de PC kan maximaal 8 camera's aan (hardware grens). Zodoende is er een nieuw ontwerp gemaakt voor de hard- en software, om zo machines met meer dan 8 gewasrijen te kunnen maken.

5.1 Hardware

Allereerst is het ontwerp van de complete machine aangepast. Aan beide zijden zijn hydraulisch opklapbare elementen toegevoegd voor het wegtransport (Figuur 26). De overige hardware componenten zoals camera's, EPEC's en embedded pc worden gedetailleerd weergegeven in de onderstaande paragrafen (Figuur 27).



Figuur 26 Concept 3D tekeningen van de schoffelmachine met meer dan 8 gewasrijen.



Figuur 27 Schematische weergave van de huidige hardware componenten in de Steketee IC machine.

5.1.1 Camera's

De gebruikte camera's zijn van het merk Allied Vision, type Stingray F201C IRF W90° (**Figuur 28**). Deze industriële camera heeft een 1/1.8" CCD kleursensor en een Firewire interface.



Figuur 28 Allied Vision Stingray F201C camera.

5.1.2 EPEC control unit

Voor het inlezen van de sensorwaardes en voor het aansturen van de actuator wordt net als in andere producten van Steketee gebruikt gemaakt van een control unit van het merk EPEC (<http://www.epec.fi/>). De verbinding tussen low-level (EPEC) en high-level (PC) controller is gerealiseerd met een seriële RS232 verbinding.

5.1.3 Embedded PC

Voor de bediening met een graphical user interface (GUI) en als high-level controller is gekozen voor een Arcobel Nuvo-4022 embedded pc. Deze PC is uitgerust met een Intel i5 processor (i5-3610ME) met 2x2GB-RAM en 4 Firewire poorten (800 MB/s) en 4 CAN-poorten. De PC wordt gevoed met 12 V en kan in een breed temperatuurbereik worden ingezet (-20°C~70°C operating temperature). Als besturingssysteem is gekozen voor Windows Embedded Standard 7. Ook een serieel RS232 interface voor de koppeling met de EPEC controller is beschikbaar.



Figuur 29 De Arcobel Nuvo-4022 embedded pc welke is gebruikt voor aansturing en software verwerking.

5.2 Software

De software voor deze applicatie is ontwikkeld met het softwareprogramma LabVIEW 2012 (National Instruments, <http://www.ni.com/labview/>), welke het standaard softwarepakket is van de Steketee machines.

5.3 Meer dan 8 camera's per PC

Allereerst zijn in het lab de hardwarematige componenten samengevoegd. Dit om op kleine schaal te onderzoeken of meerdere Firewire camera's met één PC te verbinden zijn en aan te sturen met de software. Door middel van speciale elektronica en voedingskabels zijn twaalf camera's verbonden (Figuur 30).

Omdat de embedded pc over 4 Firewire poorten beschikt zijn de twaalf camera's hier evenredig over verdeeld; dus 3 camera's per Firewire poort. In de software zijn aanpassingen doorgevoerd om de twaalf camera's te linken aan de juiste hardware poort. De initialisatie bestanden en softwarematige camera-uitleesprogramma's zijn uitgebreid met de bijhorende serienummers van de camera's. Dit is vervolgens uitvoerig getest onder labcondities. Er is geconcludeerd dat het mogelijk is om met één embedded PC twaalf camera's te verbinden (verdeeld over 4 Firewire poorten) en bijhorende camerabeelden via de software binnen te halen en te verwerken.

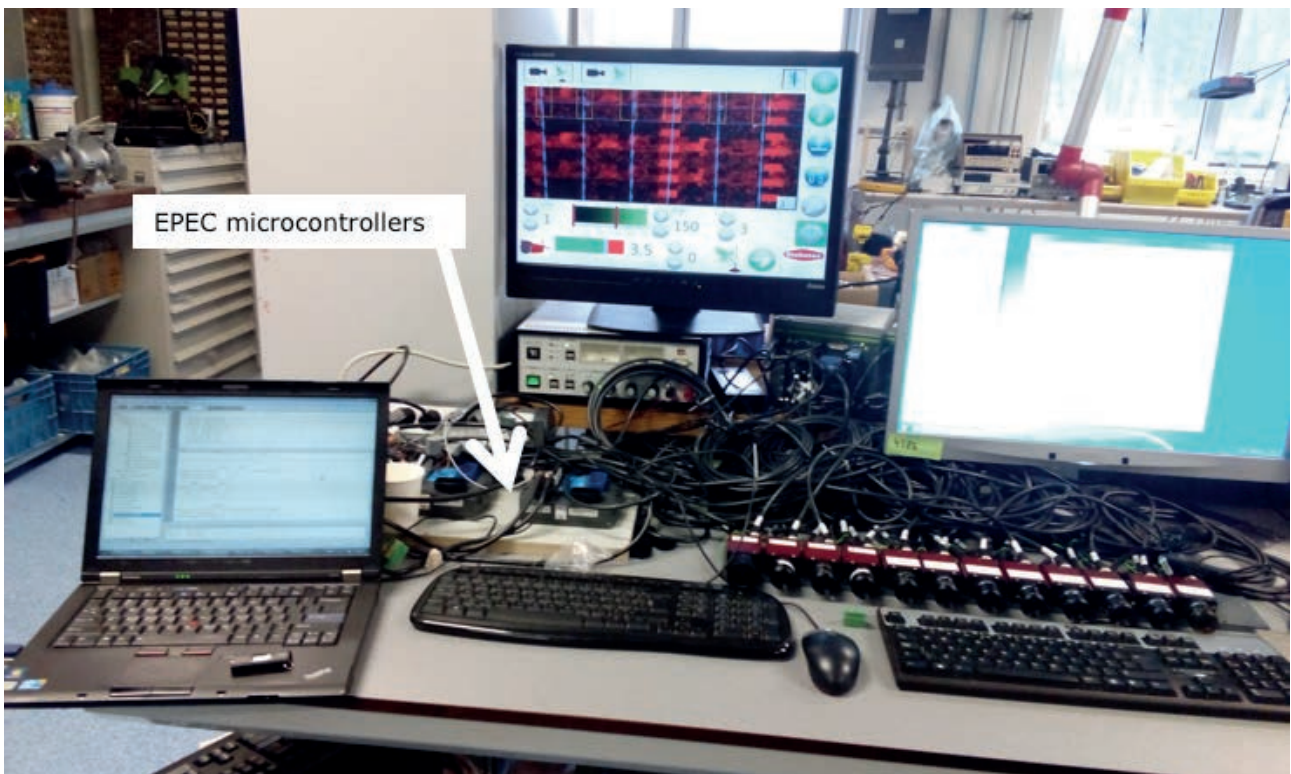


Figuur 30 Twaalf Stingray camera's in de labopstelling verbonden en aangestuurd met de embedded pc.

5.4 Aansturing van meerdere actuatoren per PC

In de huidige machineopzet zit één EPEC microcontroller die de schoffelmessen aanstuurt. Deze ene microcontroller loopt bij meer dan 8 gewasrijen tegen zijn aansturinglimiet. Zodoende is onder labcondities getest of het mogelijk is om meerdere microcontrollers aan te sturen met één PC.

De labopzet is hierdoor uitgebreid met 2 extra EPEC microcontrollers (Figuur 31). Hierdoor kunnen maximaal 24 schoffelelementen aangestuurd worden (8 elementen per EPEC), waardoor een 24-rijige machine gerealiseerd kan worden.



Figuur 31 Uitbreiding van de labopstelling met 2 extra EPEC microcontrollers.

In de software zijn vervolgens de nodige aanpassingen verricht. De belangrijkste waren het splitsen van de data import en export per EPEC (toevoeging "aparte kanalen"). Door het toevoegen van multi-threading software structuren in het Labview programma is het gelukt om de 3 verschillende EPEC's tegelijkertijd te laten werken. Hierdoor is het mogelijk om maximaal 24 rijen automatisch te schoffelen.

6 D2.6 Actuator voor bestrijden onkruiden bij volveldsgewassen

In volvelds gezaaide teelten met een te kleine plantafstand of onregelmatige plantafstand is het niet mogelijk is om de IC-weeder in te zetten. Mechanische onkruidbestrijding in deze situaties vraagt om een andere methode van onkruidbestrijding. In het kader van een ander onderzoekproject is Steketee is betrokken bij de ontwikkeling en optimalisatie van een elektrocutie end-effector voor de bestrijding van onkruid in het gewas. De ontwikkeling van de end-effector wordt geleid door Ubiquitek (Rootwave - www.rootwave.co). Om de end-effector naar de juiste locatie te kunnen sturen is door Wageningen University & Research onderzoek gedaan naar de herkenning van onkruiden in een volvelds gewas op basis van hyperspectrale data (zie Rapport Autonoom onkruid verwijderen D2.4 & D2.5).

6.1 Robotarm voor de verplaatsing van een actuator voor de bestrijding van volveldsonkruid

In dit hoofdstuk is een onderzoek uitgevoerd naar de verschillende robotarmen om de end-effector naar de juiste plek te bewegen. Hierin zijn verschillende armen vergeleken, waarmee de maximale rijsnelheid berekend kan worden bij een opgegeven onkruiddruk in het gewas.

Er zijn verschillende typen robotarmen beschikbaar op de markt. Om de juiste arm voor de configuratie te kiezen is er een vergelijking gemaakt tussen de verschillende robotarmen. Voor de keuze van de robotarm zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Minimale hoogte boven de grond moet minimaal 25cm zijn in verband met gewas.
- Bewegingssnelheid moet zo hoog mogelijk zijn om een zo hoog mogelijke rijsnelheid te hebben.

Niet meegewogen maar wel belangrijk:

- Nauwkeurigheid van locatie.
- IP rating van de arm.
- Kostprijs per arm.
- Gewicht van de arm.

Voor de verschillende type armen is bij een aantal producenten gezocht naar de beschikbare modellen. De verschillen in prestatie tussen vergelijkbare modellen van verschillende producenten (snelheid en bereik) zijn niet erg groot. Om het vergelijk tussen de typen robots overzichtelijk te houden is er van ieder type de best passende gekozen van Fanuc. De specificaties hiervan zijn gebruikt bij de beoordeling.

6.1.1 Robotarm (6 DOF)



Figuur 32 Fanuc ARC Mate 100iC robotarm.

Sterke punten:

- Hoge mate van flexibiliteit om naar een punt en weer terug naar de basis te gaan.
- Goede nabootsing van menselijke arm mogelijk.
- Grote reikwijdte mogelijk, minimale hoogte boven het gewas geen probleem.

Zwakke punten:

- Relatief traag ten opzichte van een SCARA of Delta robot.

Tabel 1

Bereik Fanuc ARC Mate 100iC.

| Fanuc ARC Mate 100iC | |
|------------------------------|------|
| Bereik horizontaal vlak [mm] | 1633 |
| Bereik verticaal vlak [mm] | 1933 |
| Snelheid J1 [°/sec] | 230 |
| Snelheid J2 [°/sec] | 225 |
| Snelheid J3 [°/sec] | 230 |
| Snelheid J4 [°/sec] | 430 |
| Snelheid J5 [°/sec] | 430 |
| Snelheid J6 [°/sec] | 630 |

6.1.2 SCARA robot

Sterke punten:

- Hoge snelheid met hoge herhaalnauwkeurigheid.

Zwakke punten:

- Beperkte verticale beweging mogelijk.



Figuur 33 Fanuc SR-6iA SCARA robot.

Tabel 2

Bereik Fanuc SR-6iA.

| Fanuc SR-6iA | |
|------------------------------|----------|
| Bereik horizontaal vlak [mm] | 650 |
| Bereik verticaal vlak [mm] | 210 |
| Snelheid | Onbekend |

6.1.3 Delta robot



Figuur 34 Fanuc M-2iA 6H Delta robot.

Sterke punten:

- Erg hoge werksnelheid.

Zwakke punten:

- Minder geschikt om te werken in verticale richting door kleiner bereik.

Tabel 3

Bereik Fanuc M-2iA 6H.

| Fanuc M-2iA 6H | |
|------------------------------|--|
| Bereik horizontaal vlak [mm] | 800 |
| Bereik verticaal vlak [mm] | 300 |
| Snelheid | 180 picks/min (verplaatsingsafstand +/-10cm en retour) |

6.2 Parameters voor model

6.2.1 [A] Onkruidruk

Een parameter die grote invloed heeft op de rijnsnelheid van het systeem is de onkruidruk. De onkruidruk in een perceel zal per teelt/perceel/seizoen verschillen. Binnen een perceel is onkruid over het algemeen niet uniform verdeeld over het perceel en willekeurig gespreid. Onkruiden staan vaak in clusters bij elkaar, en grote delen van het perceel kunnen onkruidvrij zijn (Thornton *et al.* 1990).

Uit geraadpleegde literatuur (Tabel 4) blijkt dat de onkruidruk erg kan verschillen. In deze tabel zijn de gemiddelde waarden van de onkruidruk uit de onderzoeken weergegeven. De onkruidruk die geteld is tijdens de hyperspectrale veldmetingen ligt met 19 onkruiden/m² een stuk lager dan de overige waarden. In het onderzoek van Riemens *et al.* (2007) is de onkruidruk in sla geteld op een groter oppervlakte dan tijdens de veldmetingen. Daarom is voor deze parameter een waarde van 58 onkruiden/m² genomen.

Tabel 4

Gemiddelde onkruiddruk uit literatuur (gemiddelde waarden).

| Gemiddelde onkruiddruk / m ² | Gewas | Bron |
|---|--------------------|---|
| 19.2 | Groene sla (Tango) | Metingen WUR bij Green Specialties (Lierop) |
| 135 | Wintertarwe | Rasmussen, 2002 |
| 254 | Mais | Riemens <i>et al.</i> 2017 |
| 58 | Sla | Riemens <i>et al.</i> 2007 |

6.2.2 [B] Aantal armen

Het aantal armen is afhankelijk van de werkbreedte en snelheid van de armen. Voor deze parameter is een waarde van 2 gekozen omdat met 2 armen een volledig bed sla, waarvan de meest gangbare breedte 1,50m is, bewerkt kan worden.

6.2.3 [E] Elektrocutie tijd

De elektrocutie tijd bepaald hoelang de arm op een positie stil moet hangen om het onkruid te vernietigen. In de huidige versie is de benodigde elektrocutietijd 100ms.

6.2.4 [G] Snelheid arm

De snelheid van de Delta robot is 180 picks/minuut bij een verplaatsing van 10cm. Aangenomen dat de onkruiden op gemiddeld 10cm afstand staan is de verplaatsingstijd tussen de onkruiden 0.16 sec/onkruid. Op basis van deze parameters is de maximale rijsnelheid berekend. In Tabel 5 staan de gebruikte inputs en berekening van de rijsnelheid.

Tabel 5

Parameters voor berekening maximale rijsnelheid.

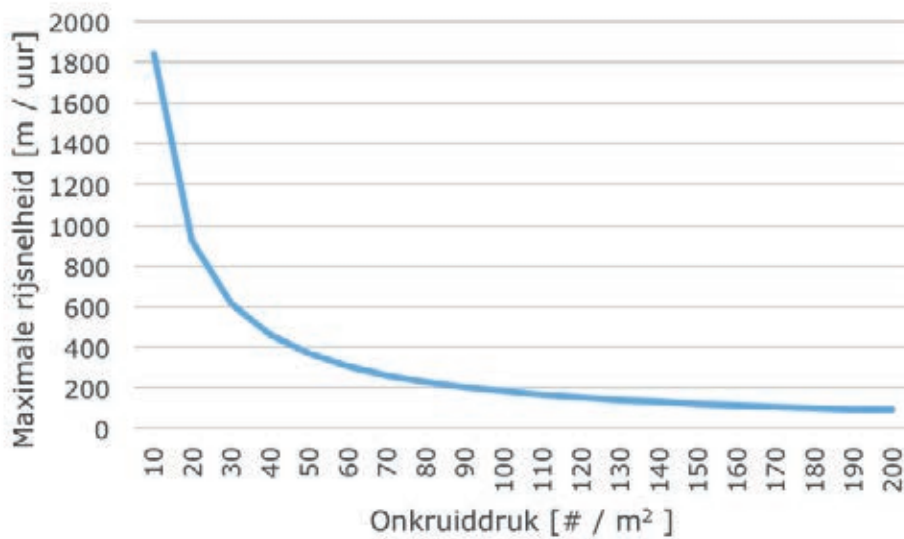
| Parameter | Waarde | Eenheid |
|-------------------------------------|--------|-----------------------|
| [A] Onkruiddruk | 58 | [# / m ²] |
| [B] Aantal armen | 2 | [#] |
| [C] Onkruiddruk bij 1.5m bedbreedte | 87 | [# / m] |
| [D] Benodigde werkbreedte per arm | 0.75 | [m] |
| [E] Elektrocutie tijd | 0.1 | [sec] |
| [F] Aantal electrodes | 2 | [#] |
| [G] Snelheid arm | 0.16 | [sec / onkruid] |
| [H] Hooge arm boven grond | 300 | [mm] |
| [I] Max. rijsnelheid | 318 | [m / uur] |

Voor de gevoeligheidsberekeningen is de volgende formule gebruikt ob basis van waardes in Tabel 5:

$$[I] \text{ Max. rijsnelheid } I = 1 / (((E+G) * A * 1,5) / B) * 3600$$

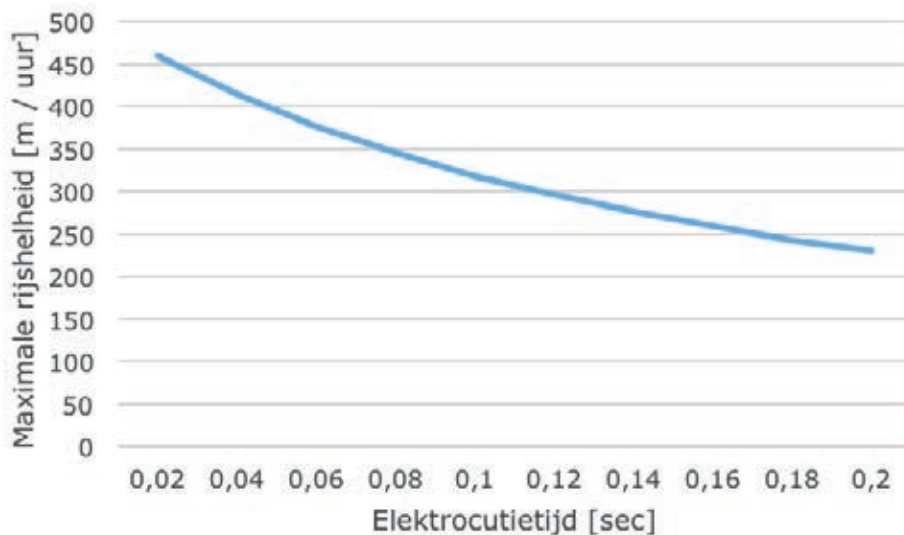
6.2.5 Gevoeligheid berekening

In Figuur 35 is de maximale rij snelheid geplot tegen de onkruidruk. Hieruit blijkt dat de invloed van onkruidruk op rij snelheid afneemt bij een hogere onkruidruk.



Figuur 35 Max. rij snelheid tegen onkruidruk.

In Figuur 36 is de maximale rij snelheid geplot tegen de elektrocutietijd. Hieruit blijkt dat de invloed van elektrocutietijd op de rij snelheid bijna lineair afneemt bij een hogere elektrocutietijd.



Figuur 36 Max. rij snelheid tegen elektrocutietijd.

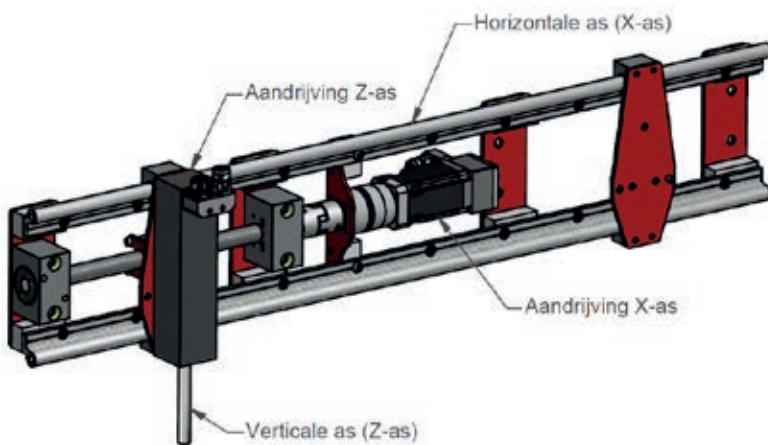
6.3 Conclusie robotarmen

Op basis van de criteria voor minimaal verticaal bereik van 250mm en een zo hoog mogelijke bewegingssnelheid is een Delta robot het meest geschikt om de elektrode over het gewas te verplaatsen.

In acht genomen dat er een aantal aannames gedaan zijn voor de berekening is de maximale rijsnelheid voor het berekende systeem 318m/u.

6.4 Conceptstudie volvelds actuatie

Uit de bovenstaande paragrafen is gebleken dat er verschillende opties zijn om onkruid volvelds te bestrijden. Bij gebruik van 2 Delta-robotarmen komt de rijsnelheid in een 1,5mtr breed slabed op ongeveer 0,3km/u. Aangezien dit te langzaam is voor een praktijktoepassing zou Steketee meerdere armen moeten gebruiken. Bij gebruik van meerdere Delta armen nemen zowel de kostprijs, energiebehoefte en het gewicht significant toe. Daarom is er voor gekozen een testmachine te bouwen met een x-z positioneerunit. Hierbij bewegen 1 of meerdere verticale actuatoren over een horizontale slede (Figuur 37).



Figuur 37 Testmodule bestaand uit een x-z positioneerunit.



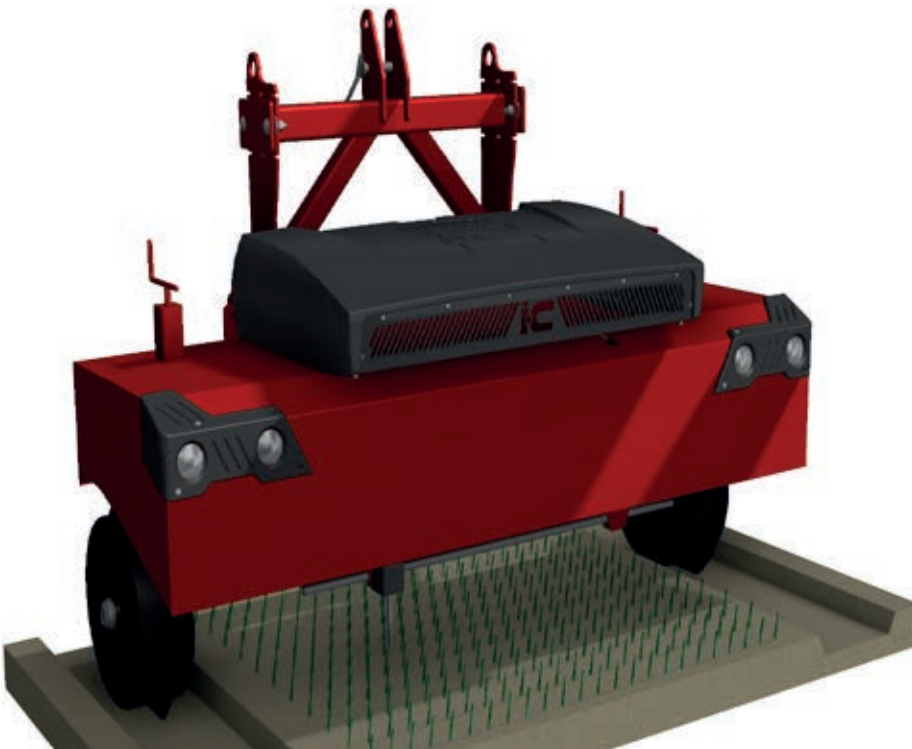
Figuur 38 Testopstelling tbv het programmeren van servo drive.

De testmachine (Figuur 39) bestaat uit een afgesloten kap met daarin de camera's, belichting, aansturing en positioneerunit. Twee metalen wielen zorgen voor de diepteregeling van de machine. Om voor voldoende elektrisch vermogen te zorgen is het apparaat uitgerust met een generator welke door de PTO van de tractor aangedreven wordt.



Figuur 39 Testmachine met generator, positioneerunit en steunwielen.

Figuur 40 laat een tekening zien hoe mogelijk de definitieve versie van een volvelds onkruidbestrijdingsmachine eruit zou kunnen zien.



Figuur 40 Tekening van mogelijke definitieve versie.

7 Publicaties en media

7.1 YouTube

YouTube channel Steketee-machines

<https://www.youtube.com/user/SteketeeMachines?feature=watch>

Steketee IC Weeder (18 Nov 2014)

<https://www.youtube.com/watch?v=dR9BDyTv-tc>

Dit filmpje geeft een uitstekend overzicht over de mogelijkheden en werkwijze van de IC weeder.

Steketee IC UK Demonstrations 2014 (24 Jun 2014)

<https://www.youtube.com/watch?v=kf0PI57udFI>

Laat de machine zien o.a. bij het schoffelen in rode sla.

Moeri Gemüsebautechnik: Steketee IC Cultivator (23 Dec 2014)

<https://www.youtube.com/watch?v=L0PsdZlbf9k>

Laat de machine zien bij het schoffelen in diverse groente gewassen.

Boer Zoekt Machine - Schoffelrobot | Het Klokhuis (11 mrt. 2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=xkxZoVY4OG8>

In deze aflevering van het Klokhuis wordt de Steketee IC weeder als superhandige boerenmachine geportretteerd.

Steketee item Doe Maar Duurzaam! RTL7 S04E01 17 april 2016

<https://www.youtube.com/watch?v=bcqgG62qqP8>

In Doe Maar Duurzaam! gaat Steketee in op schoffelmachines ten behoeve van onkruidbestrijding.

Automatic Hoeing Machine - Steketee IC - AGROM (22 Jul 2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=6WfBoRzUFBQ>

Dit filmpje laat de nieuwste generatie IC weeder met grote werkbreedte zien in een veld met pompoenen.

IC-Light Compilatie (16 Dec 2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=Q-da27ofpOI>

Een korte compilatie van de Steketee IC-Light. Dit is een camera gestuurde schoffelmachine voor verschillende gewassen.

Steketee IC Light (3 Nov 2017)

<https://www.youtube.com/watch?v=hGTImndx5-0>

The IC-Light steering system allows steering and guiding various machines in row crop cultures in a simple, economical and effective way.

7.2 Nieuwsberichten en internetartikelen

Nieuws item internetpagina WUR:

2017-10-30 Automatisch schoffelen tussen planten dankzij cameratechniek

<https://www.wur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/plant-research/glastuinbouw/show-glas/Automatisch-schoffelen-tussen-planten-dankzij-cameratechniek.htm>

Dossier: Detectie voor gewasherkenning en onkruidbestrijding, voorgaande projecten i.s.m. Steketee:

<http://precisielandbouw-openteelten.nl/dossiers/66-detectie-voor-gewasherkenning-en-onkruidbestrijding>

User case Batenburg Mechatronica:

<https://www.batenburg.nl/project/ic-cultivator-steketee-schoffelt-automatisch-cameras/>

Atikel freshplaza.com:

<http://www.freshplaza.com/article/7709/Robotic-weeding-machine-reduces-labor-pressure>

Publicatie groen kennisnet:

<https://precisielandbouw.groenkennisnet.nl/display/EL/IC+cultivator>

7.3 Vakbladen

Artikel LandbouwMechanisatie: <http://edepot.wur.nl/303588>

Artikel groentenuws.nl <http://www.groentenuws.nl/artikel/125551/Luchtaangedreven-onkruidwieder-spaart-arbeid-en-milieu>

Artikel machinebouw event: <http://machinebouwevent.nl/ic-cultivator-steketee-slimme-automatische-schoffelmachine/>

7.4 Beurzen

Op de volgende beurzen is de IC wieder tentoongesteld:

- Agritechnica (2013, 2015, 2017).
- Biovak Zwolle.
- Tech&Bio (Valence, Frankrijk).
- Innovagri (Frankrijk).
- Diverse grotere en kleinere beurzen van Amerika tot Zweden.

Literatuur

Elfring, J. 2013.

"Image Processing Using OpenCV". *Embedded Motion Control 2013 TU Eindhoven*. <http://cstwiki.wtb.tue.nl/images/06-opencv.pdf>

Rasmussen, I.A., 2003.

"The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat" *Weed Research* no. 44:12-20

Riemens, M.M., Weide, R.Y. van der, Bleeker, P.O., Lotz, L.A.P., 2007.

"Effect of stale seedbed preparations and subsequent weed control in lettuce (cv. Iceboll) on weed densities" *Weed Research* no. 47:149-156.

Riemens, M.M., Groeneveld, R.M.W., Kropff, M.J.J., Lotz, L.A.P., Renes, R.J., Sukkel, W., Weide, R.Y. van der, 2017.

"Linking Farmer Weed Management Behavior with Weed Pressure: More than Just Technology" *Weed Science* no. 58:490-496.

Rother, C., V. Kolmogorov, A. Blake. 2004.

"GrabCut" — Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts". *ACM Transactions on Graphics (TOG) Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004* no. 23(3): 309-314. Microsoft Research Cambridge, UK

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



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

Glastuinbouw Rapport WPR-750

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