



## Eindrapportage PT

Projectnummer : Hon-14171-101027.doc  
d.d. 27 oktober 2010  
Projecttitel : Gerobotiseerd manipuleren van stekken en planten met behulp  
van vision (cameratechnologie)  
Datum : 30 september 2012  
Periode : 1 juli 2010 – 30 juni 2013  
Referentie : Bijl.1 131008bv Eindrapportage PT definitief.docx (9 x A4)

Ben Veldhoven  
LTO Groeiservice BV  
Klappolder 130  
2665LP Bleiswijk  
070 3075030  
06 512 284 09



## Inhoudsopgave

1. Inleiding .....	3
2. Uitgevoerde activiteiten .....	3
3. Behaalde resultaten: Opgedane kennis en informatie .....	7
4. Evaluatie bijdrage activiteiten aan doelstellingen.....	9
5. Publiciteit .....	9



## 1. Inleiding

Een consortium onder leiding van ISO-Group Specials B.V. heeft enkele jaren geleden de grote uitdaging aangenomen om in de vermeerdering van verschillende gewassen een aantal stappen en activiteiten te automatiseren. LTO Groeiservice heeft de ontwikkeling gesteund en begeleid met kennis, ervaring en adviezen.

Naast het belang van het behouden van deze activiteiten in Nederland, dicht bij de afnemers, en midden in de topsector Land- en tuinbouw, waren het steeds scherper moeten concurreren en de toenemende vraag naar kwaliteit ook twee belangrijke pijlers voor het project.

Daarnaast kwamen er door de voortgaande technologische ontwikkelingen met name in combinatie van robotica, fijnmechanica en vision-toepassingen mogelijkheden binnen bereik om in de kernprocessen van tuinbouwbedrijven (gewasvermeerdering) belangrijke resultaten te boeken.

Hoewel het project door goede redenen nog niet helemaal is afgerond is 1 module geheel operationeel. De vooruitzichten voor het behalen van eenzelfde resultaat met een tweede module zijn bepaald gunstig. Verwacht wordt dat deze module begin 2014 ook tot een positief resultaat zal leiden. Voor de derde module zal er een nieuw ontwikkelproject gestart gaan worden.

Het consortium is het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het Productschap Tuinbouw dankbaar voor de verkregen financiële ondersteuning voor het project. Zonder deze bijdragen zou het niet mogelijk zijn geweest in dit relatief korte tijdbestek deze resultaten te behalen. Resultaten die een bijdrage leveren aan de Nederlandse Land- en Tuinbouw alsmede de Nederlandse economie

## 2. Uitgevoerde activiteiten

De uitgevoerde activiteiten bestaan uit:

1. Aanvullende financiering organiseren (€ 210.817,=),
2. Uitvoering R&D conform planning projectplan,
3. Specifiek octrooionderzoek en zeker(heid) stellen IP,
4. Projectmanagement.

### 2.1 Aanvullende financiering organiseren (€ 210.817,=)

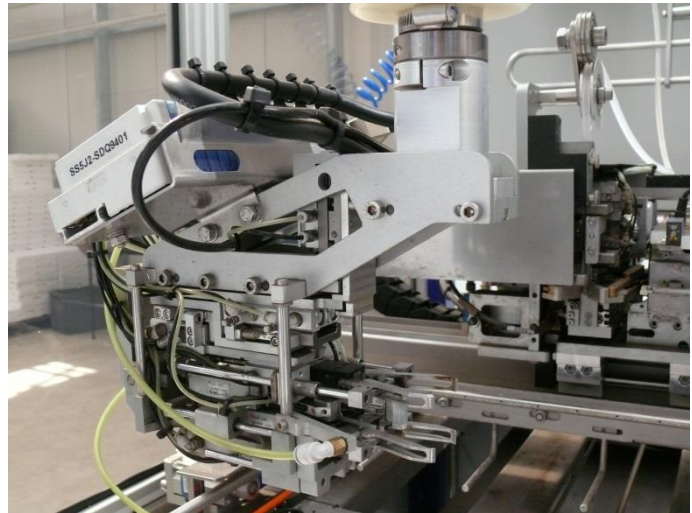
Doordat het project als laatste project met het beschikbare budget voor de regeling 'Samenwerking bij innovatie' werd gehonoreerd was een tekort ontstaan in de begroting ter grootte van € 210.817,= waardoor de begroting niet sluitend was. De projectpartners hebben een driestappenplan aangereikt aan het Ministerie van EL&I (toen nog LNV) hoe zij de begroting sluitend willen maken. De eerste



stap is een aanvullende subsidie bij het Productschap Tuinbouw aanvragen. Dit is geslaagd, waardoor de begroting sluitend is en er gestart kon worden.

## 2.2 Uitvoering R&D conform planning projectplan

Op hoofdlijnen is de R&D uitgevoerd conform de fasen zoals weergegeven in het projectplan (zie .xlsx in de bijlage 1). De resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 3.



Gezien de verschillende klantsegmenten, de toenemend teruglopende economische situatie en de veiligstelling van het intellectueel eigendom is er gekozen om het project in drie logische (deel)modulen 'op te delen'. De drie modulen zijn in R&D van het 3D-vision gedeelte onlosmakelijk met elkaar verbonden, doorlopen allen ook dezelfde fasering en zijn in complexiteit opeenvolgend (met gebruik maken van synergie, waarbij de opvolgende modulen gebruik kunnen maken van de kennis, kunde en ervaringen die in de eerdere modulen is opgedaan). De modulen zijn:

- I. Het stek-enten (waar de eerste vision onderdelen voor het uiteindelijke 3D zijn getest),
- II. Het stek oppakken (losse stek vanaf band) en automatisch steken (geheel 3D versie 1),
- III. Het knippen van stek uit rank en automatisch steken (geheel 3D definitief).

Door de ervaringen met module I vergen dezelfde fasen voor modulen II en III minder tijd en energie. (zoals aangegeven is synergie is hier een belangrijk aspect).

### I. Het stek-enten

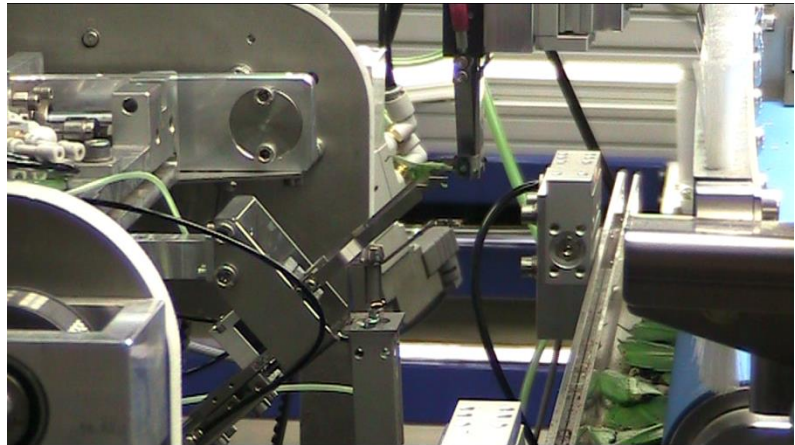
Voor het stek-enten was het de uitdaging om de twee stekken zodanig precies te positioneren dat er maximale kans op aanhechting ontstaat tussen de stekken. De ruimte om de stekken te pakken is zeer beperkt. Uiteindelijk bleek het mogelijk om de benodigde ruimte te beperken tot 18 mm voor de onderste stek (de onderstam) en 30 mm voor de bovenste stek (de bovenstam). Voor de andere twee modules is er onder andere 'geleerd' dat met de fijnmechanische oplossing er tenminste een stammetje van 18 mm noodzakelijk is om goed te kunnen grijpen en te kunnen manipuleren. Het eerste spoor voor het enten dat onderzocht is, is het met vision-technologie kunnen 'kijken' en beoordelen (precisie-techniek met groen c.q. levend materiaal). De oplossing gaf op vision gebied voldoende goede resultaten. Gaandeweg bleek dat dit echter niet de juiste betrouwbare totaaloplossing voor de praktijk gaf, omdat het te veel variabelen gaf in de machinebesturing. Gedacht vanuit de eindgebruiker is opnieuw naar het vraagstuk gekeken en gekozen voor een oplossing met robotica. Naast het feit dat de ontwikkelde oplossing hiermee simpeler en daardoor betrouwbaarder is geworden, is de prestatie ook verbeterd. Dit is aangetoond met een langere testrun met de machine. De opgedane kennis over de vision is vervolgens bij de andere twee modules ondergebracht.



## II. Het stek oppakken (losse stek vanaf band) en automatisch steken (geheel 3D versie1)

Het is een complex vraagstuk om een individuele stek van een band te kunnen 'oppakken' en stek vervolgens automatisch weg te steken. Het probleem is dat de niet-uniforme stek ongeordend, in chaotische toestand, als input binnenkomt. Het feit dat het stek niet uniform is, is de basis geweest om te zoeken naar de juiste parameters waarmee het stek - materiaal automatisch te detecteren (vision), op te pakken, te

beoordelen en weg te steken is. Met de juiste parameters kan er ontwikkeld worden op het gebied van 3D detectie en fijnmechanica. In overleg met de doelgroep is geprobeerd de parameters goed boven water te krijgen. Er zijn initiële proefjes gedaan op basis van die parameters. Uiteindelijk bleek veel stekmateriaal toch niet goed genoeg te voldoen aan de met elkaar bepaalde parameters.



De volgende conclusies zijn getrokken uit dit deel van het project:

- 1) Stek varieert zelfs binnen een soort en specifiek planttype nog behoorlijk (over de seizoenen)
- 2) De precieze kenmerken van stek is ook bij kwekers niet goed genoeg bekend, de gestelde randvoorwaarden bleken daarom niet te voldoen
- 3) Als eerste moet duidelijk worden wat de bandbreedte van de variëteit binnen specifieke soorten is en wat er teeltkundig gedaan kan worden om de bandbreedte te verkleinen voordat het automatiseren verder ontwikkeld kan worden.

## III. Het knippen van stek uit rank en automatisch steken (geheel 3D definitief)

Er is een inventarisatie gemaakt van de eisen en wensen van de doelgroep voor deze oplossing. Er is een dataset gemaakt van eenvoudige/makkelijke tot en met moeilijke soorten ranken. De dataset is gebruikt om het software algoritme te ontwikkelen. Hiervoor is samengewerkt met de vision specialisten van Wageningen UR. De ranken hangen in de opstelling (stil) en worden dus niet gedraaid. De reden hiervoor is dat draaien een onbetrouwbaarheid geeft door het na-ijlen van de rank door de draaiing. Consequentie is dat de eisen die aan de vision worden gesteld nog hoger komen te liggen.

De eerste uitgewerkte methode bleek niet de juiste





betrouwbaarheid en snelheid te kunnen leveren voor een rendabele toepassing (machine). Vervolgens is er besloten een andere methode te ontwikkelen, de zogenaamde skeletonmethode. Hiermee wordt op basis van de opbouw van de rank een 3D simulatie gemaakt van de steeltjes, zijtakken en bladeren. Daarbij van de knip- en vastpakpunten. Na afronding van dit cruciale R&D gedeelte, in augustus 2013, bleek dat deze methode erg goed werkt, betrouwbaar is en dat daarmee de geëiste prestaties gehaald kunnen worden. Er is een proefopstelling gebouwd ('houtje-touwtje t.b.v. functie testen) met een 6-assige robot om het algoritme te testen. Bij deze testen zijn onder meer kwekers aanwezig geweest om te beoordelen of de beoordeling, knippositie en snelheid voldoende goed is. De conclusie uit de testen is dat de gevonden oplossingen goed tot erg goed zijn. Met een gemiddelde foutmarge kleiner als 5% kunnen er 1.800 stekjes uit de ranken/ uur worden geknipt en op maat worden weggestoken. Vastgesteld is dat de juiste methode voor het algoritme is gevonden op basis waarvan de 3D vision software en de machine-componenten verder ontwikkeld kunnen worden. Dit laatste is een kwestie van uitdetaileren, programmeren, opbouwen en testen

### 2.3 Specifiek octrooionderzoek en zeker(heid) stellen IP

Voor de noodzakelijke technologische aanpassingen op basis van voortgaand inzicht was een aanvullend specifiek octrooi-onderzoek nodig. Dit om zeker te stellen hoe en op welke wijze er gebruik zou kunnen worden gemaakt van bestaande technieken en bestaande octrooien. Mede gezien de investeringen was een zeker stellen van de IP positie noodzakelijk en ook een eis van het consortium. Het ging daarbij in eerste instantie over de condities en voorwaarden van eventuele licenties. Overleg en later onderhandelingen met houder(s) van bestaande octrooien hebben de nodige tijd gekost en hebben in juni 2012 geleid tot een afdoende zekerstelling van de IP positie. Een goed resultaat maar ook een noodzakelijke stap welke de nodige onvoorziene tijd, energie en geld heeft gekost.

### 2.4 Projectmanagement

Er is gedurende de R&D periode een intensief contact geweest met de verschillende doelgroepen eindgebruikers om de juiste specificaties te krijgen waarvoor ontwikkeld moet worden. Deze partijen hebben meegewerkt en geholpen bij het definiëren van datasets en het beschikbaar stellen van stekmateriaal. Voor het stek-enten is een succesvolle duurttest gedaan in samenwerking met een klant. Er zijn testruns gedaan bij andere potentiële afnemers. Eindgebruikers hebben op bepaalde momenten meegedacht of een oplossingsrichting de juiste is. Ondanks dat het samenwerken het projectmatig werken organisatorisch ingewikkelder maakt zorgt het samenwerken op deze wijze uiteindelijk voor een versnelling van de ontwikkelingen. De uitwisseling tussen en de bundeling van groene kennis en de technische kennis is als zeer positief en nuttig ervaren.



### 3. Behaalde resultaten: Opgedane kennis en informatie

Tabel 1 geeft een overzicht van de resultaten per fase en per module (per eind juni 2013).

*Tabel 1, Resultaten tot en met juni 2013 (fase 1 t/m 10)*

<b><u>Status per fase (t/m juni 2013)</u></b>		<b><u>Entmodule (met gebruik van 3D onderdelen)</u></b>	<b><u>Steekmodule (volledig 3D)</u></b>	<b><u>Knip- &amp; steekmodule (volledig 3D)</u></b>
<u>1</u>	<u>Voorbereiding</u>	<u>100%</u>	<u>60%</u>	<u>80%</u>
<u>2</u>	<u>Haalbaarheidsonderzoek</u>	<u>100%</u>	<u>60%</u>	<u>80%</u>
<u>3</u>	<u>eenvoudige tests</u>	<u>100%</u>	<u>50%</u>	<u>50%</u>
<u>4</u>	<u>Groeiproeven</u>	<u>100%</u>	<u>50%</u>	
<u>5</u>	<u>planten selectie</u>	<u>100%</u>	<u>50%</u>	<u>100%</u>
<u>6</u>	<u>Ontwikkeling vision software</u>	<u>100%</u>	<u>60%</u>	<u>80%</u>
<u>7</u>	<u>ontwerpen kritische machine componenten</u>	<u>100%</u>	<u>50%</u>	<u>20%</u>
<u>8</u>	<u>detailleren machine-module</u>	<u>100%</u>	<u>50%</u>	<u>15%</u>
<u>9</u>	<u>bouwen prototype</u>	<u>100%</u>	<u>50%</u>	<u>10%</u>
<u>10</u>	<u>testen prototype</u>	<u>100%</u>	<u>35%</u>	<u>0%</u>
<u>11</u>	<u>aanpassen prototype</u>	<u>100%</u>	<u>35%</u>	<u>0%</u>
<u>12</u>	<u>testen prototype</u>	<u>100%</u>	<u>35%</u>	<u>0%</u>
<u>13</u>	<u>Praktijktest</u>	<u>100%</u>	<u>35%</u>	<u>0%</u>
<u>14</u>	<u>Groeiproeven</u>	<u>100%</u>	<u>35%</u>	<u>0%</u>
<u>15</u>	<u>Evaluatie</u>	<u>100%</u>	<u>25%</u>	<u>0%</u>
<u>16</u>	<u>Implementatie</u>	<u>100%</u>	<u>25%</u>	<u>0%</u>

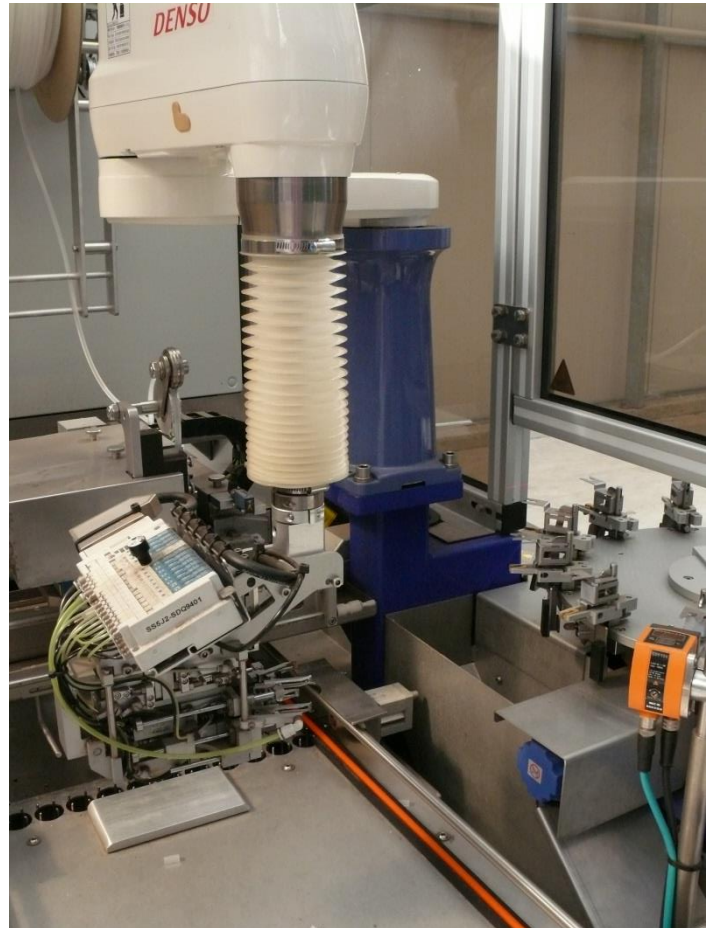
#### I. Entmodule

De entmodule is volledig afgerond tijdens de looptijd van de regeling. Er is in 2013 een duurproef succesvol afgerond. De technologie is zodanig uitontwikkeld dat de machines op de markt kunnen worden gebracht. Er is veel kennis en ervaring opgedaan over het manipuleren van kleine plantjes – stekmateriaal: kennis over benodigde steellengte (tenminste 18 mm), steeldikten, versheid van het stek, relatieve vochtigheid, grijpertechnieken, bewegingen en nauwkeurige positionering. Er zijn verschillende proefopstellingen gemaakt om gekozen oplossingsrichtingen te testen en te laten beoordelen door de doelgroep. De discussie die uit deze demonstraties komen zijn erg waardevol geweest voor de voortgang en ontwikkeling van het project. Er zijn testen uitgevoerd op een viertal kwekerijen om de robuustheid van deze module te beproeven en aan te tonen. Als laatste is er zoals aangegeven een duurproef gedaan waarmee aangetoond is dat het concept functioneel goed werkt.



## II. Steekmodule

De steekmodule is nog niet tot een afronding gekomen. Tijdens het project is veel kennis en ervaring opgedaan over de diversiteit aan kenmerken van het stekmateriaal. Er zijn veel beeldopnames gemaakt van verschillende soorten gewassen en deze zijn allen getest op detecteerbaarheid met vision. In tegenstelling tot wat uitgewerkt was bleek het stekmateriaal te veel te variëren en zelfs buiten de gestelde parameters. Er is een proefopstelling gemaakt om het daadwerkelijk detecteren, oppakken en wegsteken van verschillende steksoorten te testen. Deze proeven bevestigen dat er een andere methode noodzakelijk is om de steekmodule succesvol af te ronden. In een nieuw te starten project gaat ISO Group in samenwerking met een aantal vermeerderaars deze module verder ontwikkelen. Dit op basis van de opgedane ervaringen, kennis en kunde in dit project. De vooruitzichten om uiteindelijk, met de opgedane informatie een juiste module te kunnen realiseren zijn goed.



## III. Knip- en steekmodule

De knip- en steekmodule is nog niet afgerond. Deze module heeft vertraging opgelopen dit jaar. Het eerste spoor om methodologisch een beoordeling te maken van stekken in de rank en het knippunt te bepalen bleek onvoldoende perspectiefvol om de vereiste specificaties te kunnen halen die door de doelgroep geëist zijn (was commercieel niet haalbaar). In de zomer van 2013 is een tweede methode uitgewerkt en die methode geeft een erg goed resultaat (functionele deeltesten). Daarom is de verwachting dat de knip- en steekmodule binnen een jaar te realiseren is (juni 2014). De gekozen methode is het opbouwen van een model van de rank op basis van het volgen van stelen en het vinden van knooppunten met zijtakken en blad. De verwachting is dat de zogenaamde skeletonmethode in meerdere machineconfiguraties te gebruiken is. Daarnaast is in deze module veel kennis opgedaan in de samenwerking met vision specialisten van Wageningen UR en de samenwerking met de doelgroep. Er is tevens veel kennis opgedaan over het acquireren en beschermen van de IP positie omtrent het beoogde product. Dit laatste, het beschermen was noodzakelijk en heeft onvoorzien ook veel extra tijd en geld gekost.





## 4. Evaluatie bijdrage activiteiten aan doelstellingen

De beslissing om het project op te delen in drie modules heeft goed uitgepakt. Hierdoor is tempo gemaakt voor met name de entmodule. De oorspronkelijke planning en fasering zijn goed verlopen met name voor deze module. Zoals aangegeven (zie 1) bleek voor de 'Steek (II) en Knip-(III) modulen' een zeker stellen van het IP noodzakelijk. Dit heeft geleid tot een noodzakelijke aanpassing van de planning. Oorspronkelijk was het plan om de combinatie van vision-robotica voor de 3 modules tot een geheel gelijktijdig te ontwikkelen. Omdat het IP voor de stek-steek principe pas in juni 2012 kon worden afgerond is vanaf fase 6, mede onder druk van de economische situatie, prioriteit gegeven (vol gas) aan de ontwikkeling van de ent-module (met beperkte 3D mogelijkheden). Tegenslag in de complexiteit van het stek en de eerste uitgewerkte methode voor het 3D algoritme heeft voor verdere vertraging gezorgd voor de modules II en III.

De resultaten van de entmodule (I) en de opgedane kennis in de modules II en III geven voldoende vertrouwen om verder te gaan met deze modules. Nieuwe projecten worden in kwartaal 3 en 4 van 2013 gestart om ook modules II en III succesvol te ontwikkelen. De entmodule is zodanig uitontwikkeld dat in kwartaal 3 van 2013 begonnen wordt met de marktintroductie. Het consortium streeft er naar het gehele project (modules I t/m III) voor juli 2014 te hebben afgerond ). Zoals de zaken er nu voor staan is dit een realistisch scenario.

## 5. Publiciteit

Tijdens de looptijd van het project is er geen publiciteit geweest. De komende periode zullen de resultaten uit de entmodule, dat zijn dan bepaalde machineconfiguraties, gepubliceerd worden in vakbladen (o.a. machinebouw), op open dagen en seminars. Uiteraard zal er in deze publicaties rekening worden gehouden met de eisen die subsidieverleners aan publicitaire uitingen hebben gesteld.