



PPS-jaarrapportage 2019

De PPS-en die van start zijn gegaan onder aansturing van de topsectoren dienen jaarlijks te rapporteren over de inhoudelijke en financiële voortgang. Voor de inhoudelijke voortgang dient dit format gebruikt te worden. Voor PPS-en die in 2019 zijn afgerond is een apart format "PPS-eindrapportage" beschikbaar.

De jaarrapportages worden integraal gepubliceerd op de websites van de TKI's/ topsector. Zorg er s.v.p. voor dat er geen vertrouwelijke informatie in de rapportage staan.

De PPS-jaarrapportages dienen voor 1 maart 2020 te worden aangeleverd bij de TKI's via info@tkitu.nl of info@tki-agrifood.nl. Voor Wageningen Research loopt de aanlevering via een centraal punt.

Algemene gegevens	
PPS-nummer	HT17222
Titel	Exploitation of high-tech plant phenotyping tools for breeding companies and growers
Thema	TU financiering vanuit High Tech to Feed the World call '18
Uitvoerende kennisinstelling(en)	Wageningen Research
Projectleider onderzoek (naam + emailadres)	Rick van de Zedde - Rick.vandezedde@wur.nl
Penvoerder (namens private partijen)	A.C. Looije - Beekenkamp, directeur van Beekenkamp Beheer Maasdijk BV (vanuit Club van 100) ABeekenkamp@bkg.nl
Adres projectwebsite	https://precisietuinbouw.nl/
Startdatum	1 januari 2018
Einddatum	31 december 2021

Goedkeuring penvoerder/consortium

De jaarrapportage dient te worden besproken met de penvoerder/het consortium. De TKI's nemen graag kennis van eventuele opmerkingen over de jaarrapportage.

De penvoerder heeft namens het consortium de jaarrapportage	<i>Goedgekeurd door penvoerder Club van 100 - Dhr. Gijs Kok (Royal FloraHolland).</i>
Eventuele opmerkingen over de jaarrapportage:	<i>Dank voor het vele werk dat er voor dit team in zit.</i>

Inhoudelijke samenvatting van het project

Probleemomschrijving	Plant phenotyping is een nieuw onderzoeksgebied dat veel belangstelling heeft gewonnen zowel in de academische wereld als bij de industrie, met name veredelaars en high-tech partners. Het is een breed terrein en heeft ondertussen geleid tot een beter begrip van het functioneren van de plant in relatie tot zijn genetische eigenschappen. Anderzijds is de ontwikkeling van methoden en apparaten die op een niet-destructieve manier kwantificeren hoe de planten groeien met een snelle opmars bezig. Deze metingen worden gedaan in meerdere ontwikkelingsfasen van de plant. In de academische wereld zijn grote consortia waar Wageningen University & Research (WUR) partner in is op grote schaal infrastructuur aan het ontwikkelen, methoden voor experimenten en data-analyse aan het uitwerken. Inzichten en nieuwe toepassingen zullen via deze PPS ontsloten worden voor het bedrijfsleven. Binnen deze publiek-private samenwerking worden verschillende concrete use cases uitgewerkt om nieuwe ontwikkelingen te verkennen en te vertalen naar een concrete toepassingen voordelig voor alle betrokken partners.
----------------------	--

Doelen van het project	<p>Dit project heeft als doel om aan de sector te laten zien dat grootschalige integratie van automatische objectieve metingen in het werkproces meerwaarde biedt. Het vertrouwen in de technologie wordt versterkt als validatie testen aantonen hoe goed de automatische metingen zijn en wat de kracht en meerwaarde van voorspellingen op grote hoeveelheden data is. Het introduceren van een gestandaardiseerd meetprotocol voor bijv. automatische kiemtesten zal het vergelijk van partijen zaad tussen bedrijven mogelijk maken. Het economische voordeel hiervan is groot. De kiemttest gegevens van een zaadveredelaar en een plantenkweker verschillen op dit moment nog vaak te veel waardoor een plantenkweker niet nauwkeurig genoeg kan voorspellen hoeveel zaden opgekweekt moeten worden. Het verschil tussen de gemeten bruikbare planten bij een zaadveredelaar en een plantenteler kan oplopen tot meer dan 20%. In dit project wordt door slimme data-koppeling en automatische monitoring aan de sector getoond worden dat nieuwe inzichten verkregen kunnen worden door individuele planten met objectieve en automatische high-tech sensoren te volgen vanaf de start tot aan het eindproduct. Via nieuwe data-analyse technieken als deep learning kunnen we maximaal inzicht krijgen in de prestatie van nieuwe en bestaande rassen en beter sturen op de gewenste kwaliteit.</p> <p>Het project is opgezet in 4 use cases die specifieke doelen nastreven met de verschillende betrokken bedrijven:</p> <p>Use case 1: Gestandaardiseerde kwaliteitsinspectie van zaailingen voor veredelaars en plantenkwekers</p> <p>Use case 2: Meten en voorspellen van uniformiteit van glasgroente gewassen en potplanten in verschillende groeistadia</p> <p>Use case 3: Vrucht opbrengst metingen en voorspellingen met mobiele robots voor glasgroente gewassen</p> <p>Use case 4: Meten van uniformiteit en kwaliteit van bloembollen</p>
------------------------	---

Resultaten	
Beoogde resultaten 2019	<p>UC1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dataset verzamelen, mini MARVIN en expert ratings • Deep learning algoritmen trainen voor 2D images en 3D pointclouds. <p>UC2</p> <p>Petunia pilot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opzetten en uitvoer experiment om te onderzoeken of het watergehalte in petunia stekken een voorspeller is voor de uitval van petunia planten. • Het ontwikkelen van een niet-destructieve meetmethode (zoals NIR en hyperspectraal) om het water gehalte in petunia stekken te meten. <p>Tomaat pilot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • User story definitief • Eerste phenotyping prototype en data verzamelen. <p>Phalaenopsis pilot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Phenotyping prototype ontwikkelen om het blad oppervlak en het aantal bladeren te tellen. Voor trays met planten waarbij de bladeren elkaar overlappen.

	<p>Phenotyping prototype ontwikkeling voor wortelkwaliteit in een transparante tray te meten.</p> <p>UC3: Ontwikkelen rijpheidsmodel tomaten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Om de opbrengst in de kas te kunnen voorspellen, moet van de reeds gevormde vruchten het rijpheidsstadium worden gemeten. Daarvoor moet een model worden ontwikkeld o.b.v. kleur, en moet een kalibratiemethode worden gemaakt die deze kleur in verschillende lichtomstandigheden kan meten <p>Opzetten en testen detectiemethodes voor tomaten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tomaten moeten uiteindelijk automatisch worden 'gezien' in de kas. Daarvoor worden eerst een aantal 3D detectiemethodes getest. <p>Ontwerp maken rijdend testplatform</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het bouwen van een prototype van een zelfrijdende robot die data kan verzamelen in kas t.b.v. bovenstaande onderzoeksdoelen <p>UC4:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interviews met leliebollentelers en bezoeken aan de sorteerfaciliteiten om overzicht te krijgen over wat er nodig is om het sorteerproces te automatiseren. • In kaart brengen van verschillen tussen rassen; bewaarprocedures etc. • Testen van machine learning methodes om de geschiktheid voor het meten van de kwaliteit te testen • Verzamelen van data waarmee methodes ontwikkeld en getest kunnen worden
Behaalde resultaten 2019	<p>UC1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dataset 1 en Dataset 2 2. Virtueel tool ontwikkelt voor het online labelen van planten 3. Vergelijk tussen MARVIN en Expert classificatie. 4. Concept voor proof of concept van automatische kiemtest op basis van deeplearning 5. Eerste resultaten van deeplearning aanpak o.a. CNN op RGB top view en silhouetten, autoencoder voor silhouetten en 3D pointclouds. <p>UC2</p> <p>Petunia pilot:</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Experiment uitgevoerd in de kas door Florensis om te onderzoeken of het watergehalte in stekken een effect heeft op de plant uitval. De proef liet zien dat de uitval correleert met de experimentele 'watergehalte'condities. 7. De PLSR modelering van NIR spectroscopie data geven geen accurate metingen/voorspellingen van het watergehalte in een stek. De variatie van het watergehalte binnen de experimentele condities bleek te groot om een goed NIR model te maken. <p>Tomaat pilot:</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. User story vastgesteld en later weer aangepast. 9. Eerste prototype ontwikkeld voor in de kas (RGB en depth data) 10. Eerste RGB depth timeseries data verzameld (lab setup) 11. Phenotyping van tomaten plant met PSI Robin <p>Phalaenopsis pilot:</p> <ol style="list-style-type: none"> 12. Twee imaging prototypes ontwikkeld: QAS voor het bladerdek en RAS voor de wortel

13. Meerdere datasets verzameld van wortel en bladerendek (in het lab en in de kas)
14. Ontwikkeling basis concept voor timeseries data
15. Deep learning algoritmen om bladeren te segmenteren en wortel kwaliteit te classificeren.
16. Algoritmen om het bladoppervlak te meten
17. XRT en observatie data verzameld om de wortelontwikkeling in een pot te meten.

UC3

Ontwikkelen rijpheidsmodel tomaten

- Er zijn zowel in het lab als in de kas een groot aantal opnames gemaakt van tomaten en trossen t.b.v. het maken van een rijpheidsmodel. Hiermee zijn de beschikbare modellen met elkaar vergeleken, en is het best werkende model verder uitgewerkt. Dit is gedaan voor verschillende lichtomstandigheden: met flitslicht in het donker, bij daglicht, en bij assimilatielicht (met flitsondersteuning).

Opzetten en testen detectiemethodes voor tomaten

- De tomaten en trossen moeten niet alleen gedetecteerd worden, maar ook de positie in de kas moet worden bepaald. Dit is nodig om te zorgen dat iedere tros en tomaat precies één keer wordt geteld. Verder is de positie in de tros belangrijk. Daarom wordt gebruik gemaakt van 3D. Verschillende 3D acquisitiemethodes zijn naast elkaar gezet; uiteindelijk is gekozen voor stereo imaging met industriële camera's. Er worden in totaal 6 camera's gebruikt om een voldoende groot verticaal beeldveld te verkrijgen. Er wordt gewerkt aan software om de tomaten in voldoende mate te kunnen onderscheiden van de achtergrond.

Ontwerp maken rijdend testplatform

- Hortikey b.v. is bezig met de ontwikkeling van een zelfrijdend platform waarmee autonoom door de kas kan worden gereden. Eind 2019 zijn hiermee een aantal succesvol verlopen testritten uitgevoerd. Het platform is voorzien van het detectiesysteem zoals dat door WFBR is ontwikkeld. Er is inmiddels een grote dataset verzameld die nu wordt geanalyseerd.

UC4

Inventarisatie bestaande situatie

- In een aantal bijeenkomsten bij de WUR en tijdens bezoeken aan een aantal leliebollentelers zijn gangbare procedures van sorteren en de eisen die hieraan worden gesteld vastgelegd.

Inventarisatie sorteertechniek

- Samen met Schouten bv. zijn enkele bijeenkomsten / brainstorms gehouden om de technische en mechanische randvoorwaarden te bespreken waar een automatisch sorteersysteem aan moet voldoen. Op basis hiervan is beslist op welke manier opnames gemaakt kunnen worden.

Opnametechnieken. Er zijn testopnames gemaakt met:

- XRT Röntgen: opnames van 3 rassen, deels met volledige 3D reconstructie, deels met 3 loodrechte dwarsdoorsnedes
- 3D opnames met de MARVIN opstelling (volumetric intersection)
- 3D opnames met Gocater camera's
- Kleurenopnames vanuit 10 verschillende aanzichten onder geconditioneerde lichtomstandigheden

	<p>Analyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verschillende machine learning tools zijn gebruikt om aanwezigheid van dubbelneus en defects te kunnen vaststellen. Op basis van de resultaten is gekozen voor het gebruik van kleurenopnames als beste kandidaat. Met de testset (ca. 300 bollen) werd een detectiepercentage van ca. 95% behaald. <p>Dataset:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Er is een grote dataset gemaakt bestaande uit 5 rassen. In totaal zijn van ca. 4000 leliebollen opnames gemaakt, 10 van elk. Elke bol is door drie experts onafhankelijk beoordeeld op aanwezigheid van dubbelneus, defects, en wortelbeschadiging.
<p>Beoogde resultaten 2020</p>	<p>UC1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dataset 2 aanvullen met expert data. • Nieuwe dataset van abnormalen verzamelen. • Verdere ontwikkeling van deeplearning aanpak voor 2D beelden en autoencoders • Exploratie mogelijkheden kleur / hyperspectraal toevoeging <p>UC2</p> <p>Petunia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Literatuur onderzoek • Inzicht in welke inhoudsstoffen in een petunia stek de wortel ontwikkeling beïnvloeden. • NIR data verzamelen voor geselecteerde inhoudsstoffen en meetmethode vaststellen (lab experiment) • NIR modellen om inhoudsstoffen in een petunia stek niet-destructief te kunnen meten. • Validatie experiment in de kas om te verifiëren of de experimentele condities (gekozen inhoudsstoffen) een effect hebben op de wortel ontwikkeling. <p>Tomaat pilot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fine tuning van het ontwikkelde prototype (RGB en depth data). • RGB en depth timeseries data verzamelen bij één van de partners in de kas. Vaststellen van de meetmethode. <p>Phalaenopsis pilot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verdere ontwikkeling DL modellen om wortel kwaliteit te karakteriseren. • Prototype design om wortel en blad metingen te integreren • RGB en depth timeseries data verzamelen van het bladerdek in Bleiswijk. • Mbv phenotypering inzicht te krijgen in de factoren die bepalend zijn voor de plantontwikkeling als de planten opgepot worden. Mogelijk mbv XRT. • Timeseries data (RGB en depth) modeleren (tomaat en phalaenopsis pilot): Literatuur onderzoek • Neurale netwerken / Deep Learning methoden ontwikkelen en vergelijken bv autoencoders, Long short-term memory (LSTM) en Generative adversarial networks (GANs) voor het phenotyperen van tomaten planten en phalaenopsis planten. Deze netwerken worden gebruikt om voorspelling te maken op basis van planten opnames 'uit het verleden'. <p>UC3</p> <p>De detectie van tomaten in de kas moet nog verder worden verbeterd. Door de enorme variatie aan omstandigheden is een stabiele detectie lastig: het licht is erg variabel, en soms zijn er veel bladeren te zien.</p>

	<p>Tomaten zijn vaak maar deels zichtbaar doordat ze aan de achterkant van de tros zitten. Hier is verder onderzoek noodzakelijk.</p> <p>De integratie met de software voor de tomaatdetectie en het rijdende platform aan de ene kant, en de verwerking en opslag in een database moet verder worden uitgewerkt. Er moet een model worden ontwikkeld waarmee een goede oogstvoorspelling kan worden gemaakt obv. de gedane metingen. De data die nu is verzameld zal worden gebruikt voor een eerste analyse.</p> <p>UC4</p> <p>In 2019 is aangetoond dat defects en aanwezigheid van dubbelneus met een nauwkeurigheid van ca. 95% kan worden vastgesteld door gebruik te maken van een deep learning model en kleurenbeelden. Dit is gedaan door het model te optimaliseren voor één bepaald ras. In de praktijk komen wel zo'n 300 rassen voor. Uitdaging voor 2020 zal zijn om te kijken in hoeverre deze techniek geschikt is om modellen te maken die op meerdere rassen gebruikt kunnen worden. De grote dataset zal gebruikt worden om dit te testen. De verwachting is dat het misschien nodig zal zijn om bijv. <i>incremental learning</i> te gebruiken om modellen te kunnen hergebruiken op andere rassen.</p>
--	---

<p>Opgeleverde producten in 2019 (geef de titels en/of omschrijvingen van de producten / deliverables of een link naar de producten op de projectwebsite of andere openbare websites)</p>
<p><u>Wetenschappelijke artikelen:</u></p> <p>WR was co-author in an opinion article in the Journal Frontiers, part of the research topic, Phenotyping at Plant and Cell Levels: The Quest for Tolerant Crop Development, linked to this PPS and interaction with industry: The Phenotyping Dilemma—The Challenges of a Diversified Phenotyping Community. Eva Rosenqvist, Dominik K. Großkinsky, Carl-Otto Ottosen and Rick van de Zedde (2019) Frontiers in Plant Science, Vol. 10, p. 163 https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00163</p> <p>WR was co-author of the publication in BioSystems Engineering which is linked to the work in UC1: Plant-part segmentation using deep learning and multi-view vision (2019) Open access . Authors: Shi, Weinan; Zedde, van de Rick; Jiang, Huanyu; Kootstra, Gert In: Biosystems Engineering, 187, 81 - 95. ISSN 1537-5110. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.08.014</p>
<p><u>Externe rapporten:</u></p> <p>-</p>
<p><u>Artikelen in vakbladen:</u></p> <p>-</p>

Inleidingen/posters tijdens workshops, congressen en symposia:

Dissemination via key note presentation "Affordable Phenotyping by Rick van de Zedde at International Plant Phenotyping Symposium 2019 in Nanjing. Target group – academic & industrial phenotyping community.: <https://www.npec.nl/news/6th-international-plant-phenotyping-symposium/>

UC1:

NAKtuinouw klantendag: demonstratie van de virtual labelling tool. Discussie over mogelijke toepassing en vervanging van huidige kiemtest.

UC2:

Inloop dagen Cv100.

UC3:

Greentech deelname : stand met ontwikkeling en stand Hortikey van techniek van tomaat in de rij detectie. <https://hortikey.nl/meet-hortikey-at-greentech-2019>

TV/ Radio / Social Media / Krant:

WUR Agro Food robotics Parcourse met demonsatraties van opstellingen/ resultaten uit deze PPS: <https://www.wur.nl/nl/activiteit/agro-food-robotics-parcours-2.htm> Samenvattingsvideo Agro Food Robotics PARCOURS 2019: <https://www.youtube.com/watch?v=XUonMSxdNHc>

Overig (Technieken, apparaten, methodes etc.):

UC1

Datasets:

- Dataset 1: 8 trays van 126 planten (1008 tomaten zaailingen). Voor elke plant: 6 z/w silhouet beelden, 1 RGB top view, een 3D model en vier onafhankelijke expert ratings. Expert ratings classificeren de planten in 1^{ste} keus, 2^{de} keus, niet gekiemd en abnormaal.
- Dataset 2: opnames van ongeveer 11000 zaailingen. Voor elke plant: 1z/w silhouet, 1 RGB top view en een 3D model.

Gebruikte MARVIN systemen:

- Mini MARVIN
- WPK MARVIN systeem om te sorteren

Toegepaste analyse/modelering:

- Deep learning op 2D topview
- Deep learning o.a auto-encoders op 3D modellen

UC2

Nieuwe phenotyping imaging prototypes ontwikkeld:

- RGB camera's met een normale zoomlens en een pericentric lens: om de wortel ontwikkeling van jonge phalaenopsis planten in transparante trays te meten.
- RGB line scan en twee gocaters; om het blad oppervlak van jonge phalaenopsis planten te meten
Ensenso camera en RGB camera: om de uniformiteit in groei van tomaten planten te meten in de kas.

Phenotyping imaging en spectroscopie tools toegepast:

- Hyperspectraal camera: om watergehalte in petunia stekken te meten
- NIR spectroscopie: om watergehalte in petunia stekken te meten
- XRT imaging: om de wortel ontwikkeling van phalaenopsis planten in potten te onderzoeken
- PSI Robin: om de plant ontwikkeling van phalaenopsis en tomaten planten te analyseren. THz imaging: visualiseren van wortel in een plastic omhulsel.

Toegepaste analyse/modelering:

- Deep learning, o.a. Mask R-CNN met verschillende backbones.

- Chemo metrics

Datasets:

- RGB depth timeseries topview (ongeveer 4 weken elk uur een opname) van 12 tomaten planten
- RGB camera met normal zoom lens en pericentric lens: meer dan 2400 foto's van de wortels van 1200 phalaenopsis planten en annotaties goede slechte wortel kwaliteit
- RGB en depth topview data van 960 phalaenopsis planten (12 trays van 6x10 planten) en annotaties van individuele bladeren
- NIR data & DM (reference) van 125 petunia stekken
- Hyperspectral data van 125 petunia stekken
- XRT timeseries (8 opnames over ongeveer 4 weken) van vier phalaenopsis planten in een pot.
- PSI Robin opnames van tomaten planten en phalaenopsis planten.

UC3

Apparaten

- Lab-opstelling met 3 stereo-camera's
- Kalibratiesysteem bestaande uit 3+1 kalibratieplaten + software
- Prototype zelfrijdende robot voor in de kas

Technieken

- Methode om kleurbalans te kalibreren o.b.v. van slechts één semitransparante glasplaat
- Model om rijpheid te kunnen bepalen o.b.v. vruchtkleur, in wisselende lichtomstandigheden
- Multi camera kalibratie om in één opname alle tomaten in het gewenste hoogtebereik te kunnen vastleggen in 3D

Datasets

- Drie hele rijen in de tomatenkas zijn gedurende drie weken elke dag gefotografeerd en vastgelegd. In totaal is ca. 4TB data verzameld.

UC4

Datasets

- XRT, Gogater + 10 kleurbeelden per bol van ca. 300 bollen
- 10 kleurenbeelden per bol van ca. 4000 bollen, 5 rassen

Technieken

XRT, Gogater (laser triangulatie), shape from shading (3D Marvin), kleurkalibratie

Methodes

Deep Learning, o.a. ResNet50