



Autonome Aanpak Aardappelopslag

Resultaten activiteiten 2019-2020

Auteurs | Johan Booij, Wim-Peter Dirks, Thijs Ruigrok,
Ard Nieuwenhuizen en Jan Kamp | Wageningen University & Research

APRIL 2021 | WPR 878

Autonome Aanpak Aardappelopslag

Resultaten activiteiten 2019-2020

Johan Booij, Wim-Peter Dirks, Thijs Ruigrok, Ard Nieuwenhuizen, Jan Kamp¹

¹ Wageningen University & Research

Dit onderzoek is in opdracht van Branche Organisatie Akkerbouw uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), in het kader van Plan van Aanpak AM en is gefinancierd uit overgedragen middelen van het voormalige Productschap Akkerbouw.

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

Wageningen, april 2021

Rapport WPR-878

Booij, J.S., Dirks, W.P.G., Nieuwenhuizen, A.T., Ruigrok, T.M.J. , Kamp, J.A.L.M., 2021. *Autonome Aanpak Aardappelopslag; Resultaten activiteiten 2019-2020*. Wageningen Research, Rapport WPR-878.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/545572>

Samenvatting

Het beheersen van aardappelopslag in landbouwgewassen is van groot belang voor de bodemgezondheid en verspreiding van aardappelziekten. De relatief hoge kosten voor handmatige bestrijding maken inzet van high tech oplossingen interessant. In dit project is een Deep Learning herkenningsalgoritme voor aardappelplanten in een tweetal akkerbouwgewassen ontwikkeld. Tevens is het algoritme getest met een prototype van een spotsprayer, een apparaat dat kleine hoeveelheden middel precies op gedetecteerde planten kan spuiten. Dit rapport beschrijft de behaalde resultaten en de verbeterstappen die nodig zijn om de gewenste kwaliteit in de praktijk te realiseren

Trefwoorden: precisielandbouw, aardappelopslag, deep learning, spot sprayer, herkenningsalgoritme

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK, Lelystad T 0320 291 111; www.wur.nl/plant-research

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

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

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

Rapport WPR-878

Foto omslag: Autonome aanpak aardappelopslag

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Introductie	9
2	Achtergrond bij Spot Sprayer	11
	2.1 Overzicht prototype	11
	2.2 Herkenningsalgoritme	12
3	Materialen en Methoden	15
	3.1 Testen en demonsteren	15
	3.1.1. Veldtesten 2019	15
	3.1.2. Veldtesten 2020	16
	3.1.3. Analyse performance herkenningsalgoritme	17
	3.2 Doorontwikkeling spuittechniek	18
	3.2.1. Marktinventarisatie en expert interviews	18
	3.2.2. Spuittesten in lab	19
	3.2.3. Optimalisatiescript	20
	3.2.4. Simulaties dopafstanden en optimalisatiescript 2020	21
4	Resultaten	23
	4.1 Veldtesten 2019	23
	4.2 Veldtesten 2020	26
	4.2.1. Praktijkpercelen	26
	4.2.2. Demo Valthermond	27
	4.2.3. Effectiviteit middel	28
	4.3 Analyse performance algoritme	29
	4.4 Doorontwikkeling spuittechniek	37
	4.5 Simulaties dopafstanden en optimalisatie 2020	38
5	Discussie	41
6	Conclusies en aanbevelingen	43
	Literatuur	44

Woord vooraf

In 2018 heeft een groot aantal partijen gezamenlijk het initiatief genomen om het Plan van Aanpak AM uit te rollen. Aanleiding was de ontwikkeling van virulentere AM populaties en het verlies van de effectiviteit van bestaande resistenties in aardappelrassen. Een speerpunt in de geïntegreerde aanpak van de AM beheersing is de bestrijding van aardappelopslag. Door aardappelopslag wordt het effect van teeltrotatie teniet gedaan en uitselectie van virulentere AM populaties versneld. Daarnaast vergroot aardappelopslag ook het risico op verspreiding van aardappelziekten zoals phytophthora.

Zachte winters komen steeds vaker voor. Winters zonder matige tot strenge vorst leidt tot een overmaat aan aardappelopslag in het volggewas. De hoeveelheid arbeid die bestrijding vraagt is groot en steeds lastiger te mobiliseren. Ook nemen de arbeidskosten jaarlijks toe, zodat een alternatief voor de telers zeer welkom is.

De positieve geluiden in de pers over nieuwe technische mogelijkheden voor gewas- en plantherkenning zijn aanleiding voor de stuurgroep van het Plan van Aanpak AM om te investeren in een high tech alternatief. Een demodag in 2018 bracht aan het licht dat de beloftes die op internet te zien zijn in de praktijk nog niet waargemaakt werden. Daarom is dit project gestart met als doel om tot een praktijkrijpe toepassing te komen.

In dit project is een flinke stap voorwaarts gemaakt, maar leert ook dat alle schakels in de techniekketen (plantopnames - plantherkenning - processing op de machine - actuatie van de spot sprayer - driftarme toediening) goed moet werken. Ook moet de toepassing robuust zijn, dat wil zeggen dat het onder diverse omstandigheden goed moet werken. Denk aan grondsoort, nat-droog, gewasstadium, wel/geen aantastingen of gewasschade enz..

Het voorliggende rapport laat zien dat we er nog niet zijn. Daarom is al voorzien dat we verder gaan met verbeterde techniek in 2021. Het mooiste zou zijn als het werkt in combinatie met een autonoom voertuig, maar een combinatie met een lichte trekker behoort zeker tot de mogelijkheden.

Ik wens u veel leesplezier.

Dirk Jan Beuling (LTO Vakgroep Akkerbouw/ voorzitter Stuurgroep Plan van Aanpak AM)

Samenvatting

In opdracht van de stuurgroep Aanpak Aardappelmoehied heeft Wageningen Research in samenwerking met AgroIntelli gewerkt aan de ontwikkeling van een Spot Sprayer. Een spot sprayer is een spuitapparaat dat bestaat uit een combinatie van het herkennen van specifieke planten en een actuatie-eenheid die een kleine oppervlakte bespuit met als doel om specifieke planten te raken. Het doel van deze Spot Sprayer is om aardappelopslag in suikerbieten en uien op verschillende grondsoorten plant specifiek te kunnen bespuiten met een herbicide.

In 2019 en 2020 is een prototype van AgroIntelli uitvoerig getest en zijn verbeterstappen in de verschillende subsystemen van de Spot Sprayer doorgevoerd om de toepassing nauwkeuriger en robuuster te maken. Zo is gewerkt aan het verbeteren van het herkenningsalgoritme en uitbreiden van het herkenningsalgoritme voor aardappelopslag in uien, het verbeteren van hardware en software componenten van de Spot Sprayer, het optimaliseren van het open en sluiten van de juiste doppen, het simuleren van de effectiviteit van een spuitactie bij verschillende dopafstanden, het ontwerpen van een optimalisatie algoritme om de beste dop te activeren en is er gekeken naar combinaties van doppen en toevoegingsmiddelen aan de spuitmix om drift te minimaliseren.

Het prototype is in 2019 en 2020 in verschillende velddemo's getest, waarbij er tellingen van geraakte aardappelplanten en suikerbietplanten gedaan zijn. In 2019 is een behoorlijke stap gezet in het verbeteren van het herkenningsalgoritme wat ertoe leidde dat in 2019 meer dan 90% van de aardappelplanten geraakt werden en maximaal 13% van de bieten. In 2020 is er een volgende stap gezet, waarbij aanpassingen in software en hardware gedaan zijn die bij veldtesten niet tot een verbetering van de veldresultaten geleid hebben. Deze testen brachten wisselende resultaten naar voren van 11 tot 67% van de aardappelen geraakt en maximaal 6.3% van de bieten. Het algoritme zelf voldeed goed en detecteerde 93% van de aardappelplanten en 98% van de bieten. De achterliggende techniek op de machine voor de aansturing van de doppen bleek de datastroom niet aan te kunnen. Technische oplossingen hiervoor waren tijdens het seizoen niet meer mogelijk.

In het project is een beperkte dataset opgebouwd (490 afbeeldingen) voor een herkenningsalgoritme voor aardappelopslag in uien. Hiermee is een redelijke detectie behaald van uien (60% van uien wordt gedetecteerd, en 73% van de uien detecties zijn daadwerkelijk uien) en aardappelen (77% van aardappelen wordt gedetecteerd, en 87% van de aardappeldetecties zijn daadwerkelijk aardappelplanten).

Er is een simulatiemodel van de toepassing gemaakt, waarmee het effect van dopafstand en nauwheid van de spuitkegel op het wel of niet raken van aardappelen en bieten gesimuleerd kan worden. Hieruit bleek dat een dopafstand van 10 cm alle gedetecteerde aardappelplanten raakte en ca 5.5% van de gedetecteerde bieten. Het verkleinen van de dopafstand zorgt voor iets verbetering. Zo worden bij een dopafstand van 5cm nog maar 4.5% van de gedetecteerde bieten geraakt en bij 1cm nog maar 4%. Het optimalisatie algoritme dat de plant opdeelde in meerdere bounding boxen heeft behoorlijk effect. Zo wordt bij een dopafstand van 10 cm nog maar ca 1% van de gedetecteerde bieten geraakt en 99-100% van de aardappelen.

In gesprekken met experts op het gebied van doppen en toevoegmiddelen kwamen een aantal bestaande oplossingen naar voren om de drift en breedte van de spuitkegel in doppen te minimaliseren. Uit labtesten bleek dat een toevoeging van 0.06% Dropkeeper aan water en het verlagen van de spuitdruk tot 0.8 bar het spuitbeeld van 11.1 cm verkleind naar 7.2 cm breed met een Agrotop Spotfan 40-03 dop.

1 Introductie

De afgelopen jaren is aardappelopslag op percelen een probleem. Door zachte winters en korte vorstperiodes kunnen kleine achtergebleven knollen na de oogst zich in het nieuwe teeltseizoen ontwikkelen tot jonge en sterke planten. Deze planten concurreren met het hoofdgewas, vormen een groot risico op verspreiding van phytophthora en kunnen daarnaast het aardappelcystenaaltje in stand houden of vermeerderen.

Met name in Drenthe is de 'opslagdruk' hoog waar in volggewassen als bieten en granen wel tot 400000 aardappelplanten per hectare kunnen voorkomen [van Beers, T. G. 2011]. Een vuistregel is dat het aardappelcystenaaltje die aardappelmoehed veroorzaakt zich kan vermeerderen als het aantal aardappelplanten groter wordt dan 1600-1800 planten per hectare. Vaak zijn de planten niet volledig bestreden en zelfs nog groen tot ná juli, waardoor zich zowel knollen kunnen vermeerderen als het aardappelcystenaaltje. Daarnaast zijn de afgelopen seizoenen nieuwe virulente populaties gevonden die resistenties kunnen doorbreken, ook bij de veel geteelde rassen Seresta en Novano. Deze ontwikkelingen zijn daarom zorgwekkend.

Huidige adviezen tegen vermeerdering van het aardappelcystenaaltjes zijn verruiming van bouwplan (rotatie aardappel verminderen), raskeuze aanpassen, telen van bepaalde groenbemesters, etc.. Een Veenkoloniaal bouwplan bestaat uit 50% fabrieksaardappelen met een 2:4 rotatie. Aardappelopslag in bieten, graan en uien leidt nu tot een 4:4 rotatie. Hierdoor wordt het idee van een gewasrotatie, waarmee o.a. grondgebonden ziekten en plagen bestreden wordt, teniet gedaan. Een volledige bestrijding van aardappelopslag is daarom cruciaal.

Aardappelopslag wordt veroorzaakt door 1) verliesknollen bij de oogst van de aardappelteelt (te kleine knollen of knollen die te diep in de grond zitten) en 2) door de vorming van nieuwe knollen uit opslagplanten (opslag uit opslag).

Er is in het verleden al onderzoek gedaan om verliesknollen bij de oogst aan te pakken, echter heeft dit niet geleid tot praktijkrijpe en bruikbare toepassingen (Gerard Hoekzema, persoonlijke communicatie). Het ging hier bijv. om kneuzers die knollen in gezeefde tarra kneusden. Voorkomen of beperken van kieming verliesknollen kan door het aardappelgewas te bespuiten met maleinehydrazide (bv Royal MH) [Newberry 2007].

Bestrijding van opgekomen aardappelopslagplanten kan chemisch, dan wel mechanisch. Chemisch zijn er verschillende herbiciden te gebruiken. Glyfosaat is het enige middel met een systematische werking die de gehele plant aanpakt (moederknol, stengels, blad en nieuw gevormde knollen). Echter staat het middel glyfosaat de laatste jaren herhaaldelijk op de politieke agenda en is het maar de vraag voor hoelang en in welke mate het middel toegepast mag worden. Daarnaast zijn er middelen die het aardappelloof onderdrukken (o.a. Starane, Lontrel, Goltix). Deze bestrijden echter niet de hele plant, waardoor er nog steeds nieuwe knollen gevormd kunnen worden.

Een teler maakt een keuze voor middel afhankelijk van de effectiviteit en het risico aantasting van het geteelde gewas (gewasschade). Er zijn ook nieuwe technieken op de markt waarmee de gewasschade door herbiciden wordt beperkt. Het gaat hier om spuiten (kappenspuiten) of strijken tussen de rijen, of onkruidstrijkers (rol die hogere planten aanstipt). Het gaat hier echter om 'volveldse' toepassingen en de methoden hebben zo hun eigen voor- en nadelen. Naast deze volveldse toepassingen wordt er ook plant specifiek gewerkt, waarbij de teler of ingehuurde krachten met een selector spuit handmatig individuele aardappelplanten aanstipt of met een hak individuele aardappelplanten weghakt. Dit handarbeid kost zo'n 15-20 uur per hectare wat resulteert in een kostenpost van ca €300-400 per hectare.

Lagere beschikbaarheid van mensen, hogere arbeidskosten en lagere beschikbaarheid van gewasbeschermingsmiddelen zorgen ervoor dat telers naar alternatieven moet zoeken om aardappelopslag in de toekomst efficiënt en effectief te kunnen bestrijden. Automatiseren van

repetitieve taken zoals het handmatig aanstippen van aardappelplanten kan hierbij een uitkomst bieden.

In de laatste decennium van 2009 – 2019 zijn er nieuwe technieken voor detectie, navigatie en control ontwikkelt in onderzoek tot een proof of concept. Het doel van dit project is om deze samen te brengen tot een proof of concept en prototype werktuig om aardappelopslag te herkennen en plant specifiek te bestrijden. Dit werktuig is geschikt om bijvoorbeeld in een autonome werktuigdrager te hangen. In het project is gewerkt aan enerzijds testen en valideren van de prototype Spot Sprayer, anderzijds het identificeren (en deels implementeren) van technische verbeteringen aan het Spot Spray systeem (camera – detectie - actuatie). Bovendien is er een inventarisatie en implementatie gedaan van oplossingen om preciezer te spuiten (microsprayer).

2 Achtergrond bij Spot Sprayer

2.1 Overzicht prototype



Figuur 1 Overzicht van hardware componenten Spot Sprayer

Figuur 1 toont het prototype van de Spot Sprayer.

1. Aan de voorkant (niet zichtbaar) zit een ophanging voor een standaard 3-puntshef van een tractor of ander voertuig. In dit geval hing het prototype in een autonoom platform genaamd Robotti. In 2020 hing het prototype achter een tractor.
2. Bovenop zit een RTK-GPS bol om de positie van het prototype vast te leggen.
3. In het midden zit een afgeschermd kap met daaronder LED licht en vier camera's.
4. Op de achterkant staat een laptop met software.
5. Onder de laptop zit elektronica en een PLC-board om de spuitdoppen aan te sturen.
6. Aan de onderkant zit een spuitboom met 29 spuitdoppen op 10 cm dopafstand gemonteerd.

De laptop zorgt voor de aansturing van de camera's en haalt de afbeeldingen op uit de camera's. Vervolgens analyseert een herkenningsalgoritme de locatie van suikerbietplanten en aardappelplanten op de foto's en tekent bounding boxen (vierkanten) in de foto's die de volledige plant omvatten (zie ook hoofdstuk herkenningsalgoritme). Vervolgens worden de locaties van de aardappel bounding boxen op de foto getransformeerd naar een locatie onder de machine. De PC stuurt vervolgens de verplaatsingsnelheid van de machine (RTK-GPS), de tijdsduur tussen het van de foto's en de verder verwerking én de bounding boxes (met locaties) door naar een spuitcontroller.

De spuitcontroller berekent vervolgens de afgelegde afstand vanaf het nemen van de foto's tot aan de tijd dat de data doorgegeven is aan de spuitcontroller en compenseert hiervoor om op het juiste moment een dop open te zetten boven de aardappelplant. De spuitcontroller zet standaard alleen doppen open die boven een bounding box zitten.

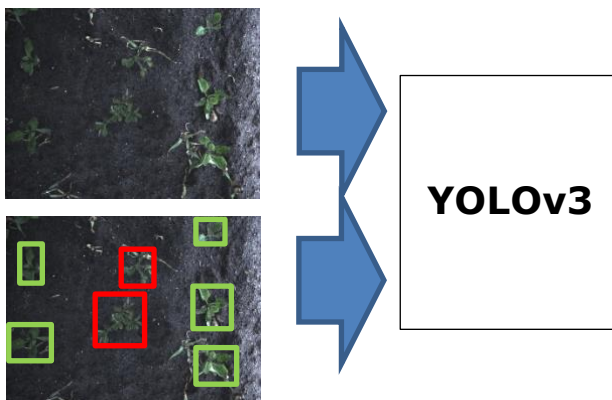
2.2 Herkenningsalgoritme

Het gebruikte herkenningsalgoritme detecteert en classificeert objecten op foto's. Het gebruikte algoritme is YOLOv3 [Redmon et al 2016]. Net als een mens heeft het algoritme veel voorbeelden nodig om uiteindelijk te snappen welke objecten er zichtbaar zijn op een foto. De gebruiker levert de voorbeelden aan om op te trainen. Deze voorbeelden bestaan uit de originele foto's en bounding boxes die rondom aardappelplanten en suikerbieten zijn gezet met daarbij de juiste label (aardappel of suikerbiet), zie figuur 2.

Een eerste proces is het trainen van het algoritme, zoals in figuur 3 te zien is. Een algoritme leert hiermee objecten te herkennen binnen een foto, een bounding box rondom het object te zetten en er een label aan te hangen.



Figuur 2 Links originele foto, rechts foto met bounding boxes en label (aardappel of suikerbiet).



Figuur 3 Trainen van een algoritme.



Figuur 4 Gebruik van getraind algoritme.

Het tweede proces is het gebruik van een getraind algoritme, zoals in figuur 4 te zien is. Een getraind algoritme wordt vervolgens gebruikt om real time objectherkenning te doen. Het algoritme geeft een zekerheidskans in hoeverre het een object correct herkend heeft. Met het gebruik van een streefwaarde (bijv. minimaal 50% kans) worden niet nauwkeurige herkenningen buitengesloten.

Een algoritme werkt goed op situaties waarvan voorbeelden zijn gebruikt voor de training. Bijna gelijke veldsituaties kunnen met het bestaande algoritme (en achterliggende trainingsdataset) behandeld worden. Als objecten door omstandigheden er echter compleet anders uitzien, wordt de kans dat het algoritme de objecten met voldoende zekerheid herkent lager. Hoe meer de situatie van de bestaande trainingsdata afwijkt, hoe lager de performance zal zijn en hoe groter de behoefte wordt aan hertrainen met nieuwe data.

3 Materialen en Methoden

3.1 Testen en demonsteren

3.1.1. Veldtesten 2019

In mei 2019 is een demoveld bieten aangelegd van ca 100m x 8 werkgangen ten behoeve van de Robotti uitgerust met de Spot Sprayer. Tijdens het testen zagen we verschil in performance van het algoritme bij verschillende camera-settings (hoge en lage belichting). Daarnaast zou verschil in ondergrond (lichte zandkop versus donker dalgrond) mogelijk de performance kunnen beïnvloeden.

Op de machine is een herkenningsalgoritme van AgroIntelli gebruikt, die getraind is op een beperkte dataset van WUR met data van 2018 en daarvoor.

Op dit demoveld zijn op zowel een zandkop als een lage humusrijke plek (dal) bij 4 werkgangen plotjes uitgezet van 12.5 m x 2 m (4 rijen bieten), zodat er in totaal 4 plotjes op een kop lagen en 4 plotjes op dalgrond. Bij de helft hiervan zijn de camera's ingesteld op een instelling waardoor de afbeeldingen lichter lijken en bij de andere helft op instelling waardoor de afbeelding donkerder lijken. In deze plotjes zijn alle bietenplanten en alle aardappelplanten geteld. Vervolgens is met de Spot Sprayer water toegepast op de plotjes en zijn het aantal geraakte bieten en aantal geraakte aardappelen geteld. Tevens zijn afzonderlijk het aantal geraakte bieten dichtbij een aardappelplant geteld. Die zijn waarschijnlijk geraakt doordat het spuitsysteem niet precies genoeg spoot. Vervolgens is uitgerekend welk aandeel van de bieten ten opzichte van alle bieten in het veldje geraakt zijn. Ook het aandeel geraakte aardappelen ten opzichte van alle aardappelplanten in de plot én het aandeel geraakte bieten dichtbij aardappel ten opzichte van alle bieten in de plot zijn uitgerekend. Daarnaast zijn het aantal aardappelopslagplanten omgerekend naar aantal planten per hectare.



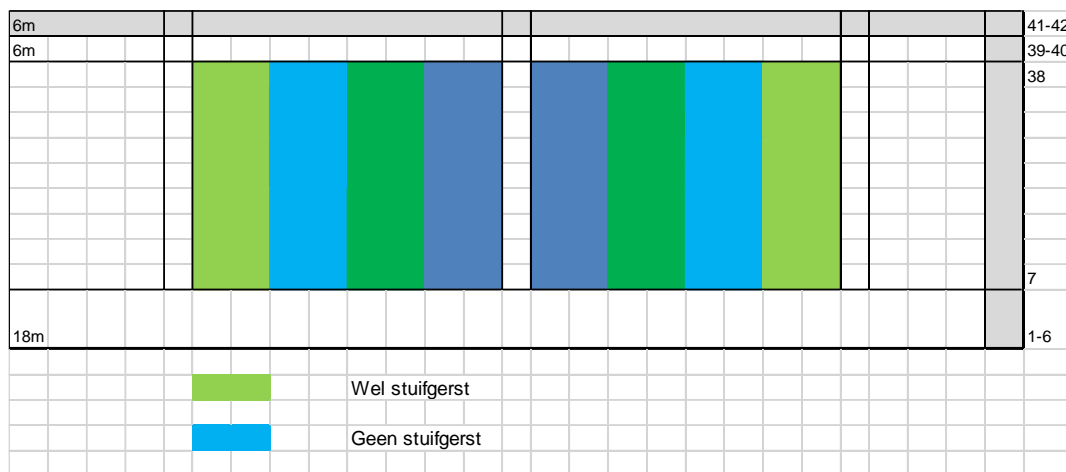
Figuur 5 Tellen van geraakte bieten en aardappelen.

Na een demodag in mei (Innovatiedag 'Dág Onkruid') zijn de bieten en aardappelen ondergewerkt en zijn opnieuw bieten gezaaid en aardappelopslag gepoot. Figuur 6 toont het schema van deze demo. De twee bietenstroken elk aan de buitenkant zijn eind juni gezaaid. De vier bietenstroken in het midden zijn eind juli gezaaid. Per zaaimoment zijn er twee werkgangen met stuifgerst en twee zonder stuifgerst gezaaid. Eind augustus was er een demodag georganiseerd rondom het gebruik van 5G met deze robot. Vlak ervoor en erna zijn er tellingen gedaan, soortgelijk aan de tellingen in mei. De vroeg gezaaide bieten zagen er vanwege droogte niet representatief uit. Er zijn daarom alleen tellingen gedaan in de middelste 4 stroken (laat gezaaide stroken). Bij elk van deze stroken zijn twee plotjes aangelegd, één op een zandkop en één op dalgrond. Er zijn hierbij verschillende tests uitgevoerd

- op 23 augustus met een algoritme van AgroIntelli *
- op 23 augustus met het algoritme van WUR op 5G server**
- op 28 augustus met het algoritme van WUR op 5G server**

*Het algoritme draaide hierbij op een laptop van het systeem zelf.
 **Het algoritme draaide op een server van KPN in Den Haag waarmee de laptop in het veld verbonden was via een 5G connectiviteit op de boerderij en bestaande telecom infrastructuur in Nederland.

Het gebruikte algoritme van AgroIntelli is voor deze testen hertraint met data die AgroIntelli zelf in mei heeft vergaard. Het gebruikte algoritme van WUR is voor deze testen hertraint met trainingsdata vergaard in mei en juni t/m augustus 2019.



Figuur 6 schema van de demo in juni - augustus.

3.1.2. Veldtesten 2020

In 2020 was er in april-mei geen beschikking over een Robotti platform. Het prototype was daarom geschikt gemaakt om achter een tractor te kunnen hangen. Er zijn daarbij aanpassingen in de hardware en software gedaan. Zo is de Spot Sprayer van een eigen RTK-GPS systeem voorzien, in plaats van het gebruik van het RTK-GPS systeem van de Robotti. Tevens is de laptop vervangen door een nieuwere versie. Qua software zijn er aanpassingen gedaan in bijvoorbeeld instellingswaarden om de spuit op verschillende hoogten ten opzichte van het maaiveld te kunnen toepassen. Immers, een machine die hoger boven het gewas hangt, heeft een grotere "field of view" per camera en de vertaling van objecten op camera-beelden naar echte wereld posities verandert daardoor. Ook zijn aanpassingen gedaan in de algehele structuur van de software en de communicatie naar het GPS-systeem.

In 2020 is de Spot Sprayer toegepast op 3 praktijkpercelen en is er een demo aangelegd met toepassing van herbiciden. Op een praktijkperceel van Open Teelten Lelystad (klei), een praktijkperceel van Open Teelten Valthermond (dalgrond) en een praktijkperceel in Odoorn (zand) is de Spot Sprayer een of meerdere keren toegepast met als doel om te monitoren hoe de toepassing in praktijk kan werken. Aardappelopslagplanten komen niet gelijktijdig boven, waardoor het soms nodig is om wel drie tot vier keer een behandeling uit te voeren voor het effectief bestrijden van aardappelopslag. Bij de praktijkpercelen is eerst gekeken of de Spot Sprayer voldoende nauwkeurig was, door te spuiten met een mix van water, kleurstof en het toevoegmiddel Dropkeeper. Per perceel

zijn random 8 telplotjes van 2.8 x 10m uitgezet, waarbinnen alle aardappelplanten, suikerbietplanten, aantal geraakte aardappelplanten en geraakte suikerbietplanten zijn geteld.

In 2019 was de ervaring dat het herkenningsalgoritme niet goed overweg kon met nieuwe veldsituaties, zoals bevroren aardappelplanten of suikerbietplanten aangetast door luizen. In de veldtesten van 2020 zijn daarom telkens een dag voorafgaand aan de test met spuiten data opgenomen, geannoteerd en gebruikt om het algoritme te hertrainen. Dit had als doel om telkens met de hoogste nauwkeurigheid van herkenning te werken.

Tijdens de uitvoering op de percelen bleek dat de technische verbeteringen, zoals hierboven genoemd, niet leidde tot verbeteringen in veldprestatie. De prestatie was behoorlijk minder in vergelijking met augustus 2019. Er is daarom een behoorlijke inspanning gepleegd om de oorzaak hiervan te vinden, door middel van extra veldtesten en door de software goed na te kijken, waardoor kostbare tijd verloren ging. In testen met geprinte A4's met bieten en aardappelplanten reageerde de spuit zeer wisselvallig met te vroeg of te laat spuiten op de plant. Met name bij veel aardappelaafbeeldingen spoot de spot sprayer vaak te laat. Vanwege een te vergevorderd gewasstadium van de suikerbieten is daarom eind mei een aanvullende demo aangelegd om 1) de technische uitdagingen op te lossen en 2) het effect van de Spot Spray applicatie met verschillende middelen te beoordelen.

Er zijn 5 werkgangen van ca 200m aangelegd. Twee van deze werkgangen werden gebruikt voor testen met kleurstof om de Spot Sprayer te verbeteren. Daarnaast lagen 3 werkgangen om de applicatie te beoordelen waarbij gespoten is met respectievelijk kleurstof, Round-Up Ultimate en Goltix SC. Per werkgang zijn 4 plotjes aangelegd en tellingen uitgevoerd. Een tot twee weken na de bespuiting zijn nogmaals alle bieten in de plotjes geteld om vast te stellen hoeveel er weg zijn gevallen als gevolg van de bespuiting. In juni zijn er nog allerlei technische verbeteringen doorgevoerd in de software om de problemen op te lossen.

3.1.3. Analyse performance herkenningsalgoritme

De tellingen in de veldtesten en demonstraties vertellen iets over de nauwkeurigheid van het gehele systeem. Dit systeem bestaat uit echter uit verschillende 'bouwblokken' die achtereenvolgens uitgevoerd worden. De nauwkeurigheid en duur van elk proces heeft invloed op het uiteindelijke veldresultaat. Er is daarom ook gekeken naar de nauwkeurigheid van het herkenningsalgoritme zelf.

In 2020 heeft het prototype op 11 momenten data opgenomen op verschillende grondsoorten en gewasstadia. Bij elk moment is de dataset met ruwe en geannoteerde afbeeldingen random opgedeeld in afbeeldingen die gebruikt worden voor de training (70%), voor testen van de training (15%) en valideren van het algoritme (15%). Bij het valideren worden de ruwe afbeeldingen van de validatieset verwerkt door het algoritme, die de afbeeldingen voor het eerst ziet. Het getrainde algoritme zet vervolgens bounding boxen in de afbeeldingen en classificeert deze als suikerbiet of aardappel. Vervolgens wordt deze output vergeleken met de geannoteerde afbeeldingen van de validatieset door te kijken of bounding boxen van het algoritme overeenkomen met bounding boxen die een gebruiker handmatig heeft ingevoerd en of de labels ook overeenkomen. Hieruit kan een Precision, Recall en mean Average Precision (mAP) berekend worden.

Recall is de verhouding tussen het totaal aantal geannoteerde objecten in de dataset (van een class) en het aantal gedetecteerde objecten (van die class). Een recall van 0.80 voor aardappelplanten betekent dus dat 80% van de geannoteerde aardappelplanten in de dataset als aardappel gedetecteerd zijn. De overige 20% van de geannoteerde aardappelplanten in de dataset is dus niet door het netwerk als aardappel gedetecteerd.

Precision is de verhouding tussen het aantal gedetecteerde objecten (van een class) en het aantal correct gedetecteerde objecten (van die class). Een precision van 0.80 betekent dus dat 80% van de gedetecteerde aardappelplanten ook daadwerkelijk aardappelplanten zijn. De overige 20% van de aardappeldetecties is dus eigenlijk iets anders, bijvoorbeeld een andere plant of achtergrond.

Zoals beschreven in het hoofdstuk Herkenningsalgoritme, wordt er pas een label aan een object gehangen wanneer deze hoger is dan een bepaalde zekerheidskans (confidence level). Deze zekerheidskans heeft invloed op de Recall en Precision van het algoritme. Wanneer deze bijvoorbeeld laag is, detecteert het algoritme veel meer objecten (hoge Recall), maar de kans dat het algoritme er een correct label aan hangt is lager (lagere Precision). Andersom zorgt een hogere zekerheidskans voor een lagere Recall en een hogere Precision. De mean Average Precision is daarom een betere

maat om te beoordelen of een algoritme robuust werkt. Dit is een combinatie van de Recall en Precision.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor zowel het herkennen van suikerbietplanten, aardappelplanten en een gemiddelde over beide voor alle 11 momenten.

Naast de detectie van aardappelopslag in suikerbieten, zijn er ook datasets opgenomen van aardappelopslag in uien. Er zijn totaal 490 afbeeldingen gebruikt voor een geannoteerde dataset. Deze afbeeldingen zijn opgesplitst voor training (344), validatie tijdens het trainen (73), en testen na het trainen (73). Vervolgens zijn er verschillende analyses gedaan om de volgende vragen te beantwoorden:

1. Hoe presteert het algoritme met de (beperkte) dataset?
2. Kunnen we inschatten hoeveel data we moeten verzamelen om de performance te verbeteren?
3. Kunnen we een algoritme voor detectie van aardappelopslag in ui verbeteren door data van bieten toe te voegen?

Hiertoe zijn de volgende analyses gedaan:

Bij 1 en 2: we hebben een Yolov5 algoritme getraind op respectievelijk 21, 43, 86, 172 en 344 uienafbeeldingen. Hiervan zijn de recall en precision bepaald voor de detectie van aardappelen en uien.

Bij 3: we hebben een Yolov5 algoritme getraind met de volgende hoeveelheden data:

Training					
Aantal afbeeldingen	1	2	3	4	5
Uien dataset	86	172	344	344	344
Bieten dataset	258	172	0	344	688

Per getraind algoritme is gekeken wat de precision en recall is voor aardappelen en uien.

3.2 Doorontwikkeling spuittechniek

3.2.1. Marktinventarisatie en expert interviews

Om tot een solide marktintroductie te komen van de spot spraying spuittechniek, zijn verschillende aspecten van belang, zoals

- Welke marktpartijen hebben reeds ervaring met spot spraying?
- Welke partijen zijn actief in ontwikkeling en innovatie richting precisie bespuitingen?

Tijdens de optimalisatie van de spuittechniek gedurende winterperiode 2019-2020 zijn gesprekken gevoerd met de volgende fabrikanten en leveranciers:

- Garford Machinery: Heeft in de afgelopen jaren gewerkt aan een prototype machine die geschikt is voor spot spraying op aardappelopslag in uien en bieten. De machine is niet doorgebroken op de markt omdat de Engelse telers voor herbiciden kiezen die alleen het loof afbranden.
- Tillett and Hague technology: Is de technologie leverancier van Garford Machinery. Via Tillett and Hague zijn spuitdoppen en kleppen beschikbaar die geschikt zijn om bij nog lagere druk meer gericht te spuiten.
- Homburg Holland Machinery: Is in Nederland de importeur van Garford Machinery en wil de machine voor aardappelopslag bestrijding ook hier in de markt krijgen. Homburg Holland is proactief uitgenodigd bij de veld demonstratie van de techniek van AgroIntelli voorjaar 2020
- Agrifac Machinery: Heeft spotspray technologie op de veldspuitboom, maar deze is niet geschikt voor toepassing op plantniveau met glyfosaat; dit levert te veel gewasschade op.

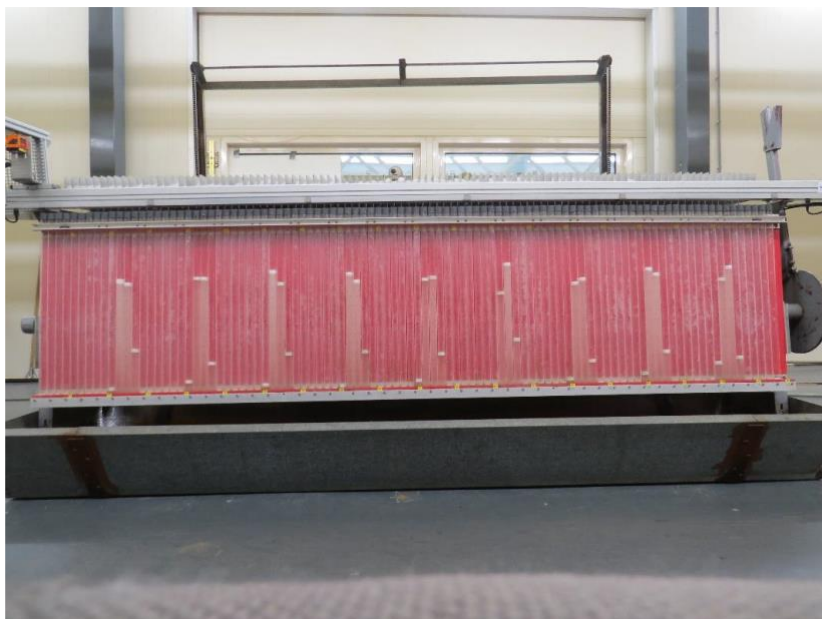
Naast de technische kant van de precisie van doppen en resolutie van het spuitpatroon is ook geïnterpreteerd welke verbeteringen er aan de spuitvloeistof mogelijk zijn.

Hiertoe zijn gesprekken gevoerd met:

- Jan van de Zande – Wageningen UR: Geeft aan dat grote besparingen te halen zijn door over te gaan op spotspraying. De richtlijnen voor toelating van middelen zijn nog niet altijd voorbereid op spot spraying. Verschillende mogelijkheden zijn beschikbaar om met gewone spleetdoppen een veel nauwer spuitbeeld te krijgen.
- Henk-Jan Holterman – Wageningen UR: Expert op gebied van druppelgroottemetingen en spuitdrift. Geeft aan dat er naast het doptype grote invloed is van de spuitdruk en de vloeistof eigenschappen. Raadt aan om specifiek naar de samenstelling van de vloeistof te kijken om zo gewasschade door spuitdrift nabij de spuitdop te voorkomen.
- Hans de Ruiter – SurfaPlus: Expert op het gebied van uitvloeiers en stickers in spuitmiddelen. Geeft aan dat een toevoeging van DropKeeper de vloeistofeigenschappen zo aanpast dat de glyfosaat oplossing veel minder spuitdrift geeft en ook beter blijft plakken op de aardappelopslag, wat gunstig is voor de opname. Hierdoor kan mogelijk ook met een lagere dosering glyfosaat gewerkt worden, wat gunstig is richting de toelating. Op basis van dit advies voerden we met DropKeeper metingen uit aan spuitdoppen in het lab.

3.2.2. Spuittesten in lab

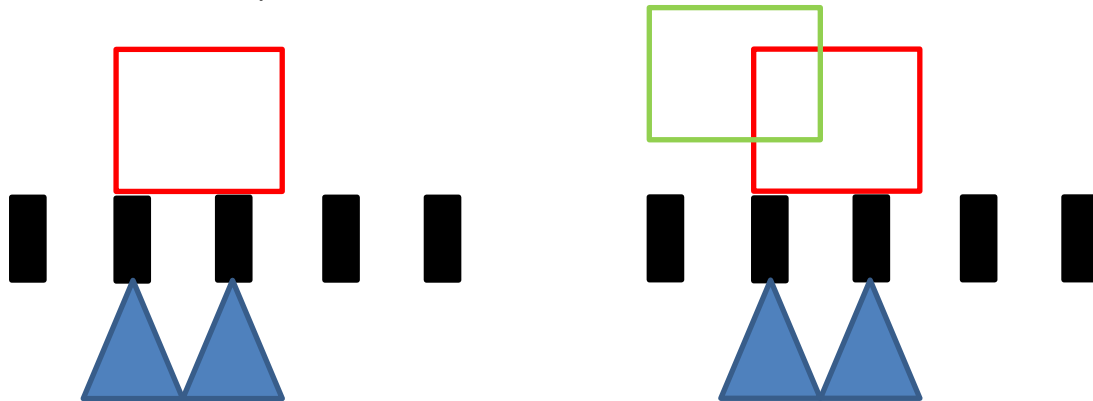
Om te achterhalen wat de verbeteringen zijn qua precisie van standaard spuitdoppen, zijn metingen uitgevoerd in de spuithal op een spuitbord. Op het spuitbord kan de breedteverdeling van een spuitdop vastgesteld worden, zodat bekend is hoe breed een spuitdop zal spuiten in de praktijk. Verschillende spuitdrukken en concentraties van DropKeeper zijn getest in de spuithal op het spuitbord. Details van de uitgevoerde metingen zijn apart bijgevoegd in het meetverslag: "spuitbeeld doppen Agrotop voor AgroIntelli spuit", zie bijlage 1.



Figuur 7 Spuitbord om de breedteverdeling van doppen te onderzoeken.

3.2.3. Optimalisatiescript

De pc of laptop op de Spot Sprayer stuurt de bounding boxen met het label aardappel door naar de spuitcontroller, die vervolgens de juiste doppen openzet. Als een bounding box qua grootte boven 2 spuitdoppen zit, dan worden 2 spuitdoppen aangezet. Het nadeel hiervan is dat als er een suikerbiet dicht bij de aardappelplant staat, er dan een grote kans is dat deze ook geraakt wordt (zie onderstaand voorbeeld).



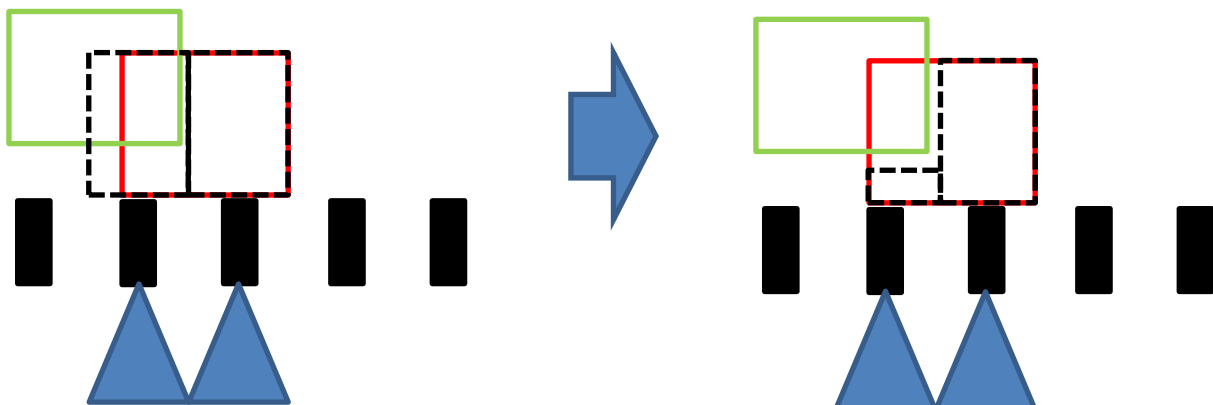
Figuur 8 Weergave bounding boxen en spuitdoppen.

Om te voorkomen dat er suikerbieten geraakt worden, is er in 2020 een optimalisatiescript geschreven. Dit script herdefinieert de bounding box van de aardappel indien deze te dicht bij een suikerbiet staat, zodat er maar 1 spuitdop opengaat in plaats van 2 of meerdere.

Het script controleert of er overlap is tussen een bounding box van de suikerbiet en een bounding box van de aardappel. Vervolgens verdeelt het script het beeld in stroken van 10 cm, corresponderend met de positie van de spuitdoppen, en kijkt welke spuitdoppen overlap hebben met de bounding box van de suikerbiet. Vervolgens herdefinieert het script de bounding box van de aardappel (het te spuiten oppervlakte), zodat er geen overlap meer is met de suikerbiet.

Dit is geïllustreerd in onderstaande linker afbeelding. Hier wordt gecheckt over de bespoten oppervlakte (zwarte onderbroken lijn) overlap heeft met de bounding box van een suikerbiet (groen). In het rechterplaatje is het te bespuiten oppervlakte (zwarte onderbroken lijn) gherdefinieerd, waardoor de suikerbiet niet wordt geraakt.

Soms komt het voor dat een aardappel zo dicht bij een suikerbiet staat, dat het te bespuiten oppervlakte geheel overlapt met een suikerbiet. Het is in te stellen of er dan minimaal 1 dop moet aanstaan bij een aardappel en daarmee een suikerbiet wordt opgeofferd, of dat er niet gespoten wordt en de aardappel (en suikerbiet) niet bespoten wordt.



Figuur 9 Werkingsprincipe van bounding box optimalisatie.

3.2.4. Simulaties dopafstanden en optimalisatiescript 2020

Het prototype dat is gebruikt in de testen en velddemonstraties, heeft een spuitboom met 29 spuitdoppen op 10cm afstand van elkaar en een effectieve werkingsbreedte van 2.9m. Het verkleinen van de dopafstand en verkleinen van de spuitbreedte van een dop kan zorgen voor een preciezere toepassing van middelen. Daarnaast kan het optimalisatiescript zorgen voor een preciezere toepassing door de meest geschikte dop aan te schakelen. Om te berekenen wat het effect hiervan is op de uiteindelijk veldprestatie van een machine, is een simulatie gedaan op een bestaande dataset van afbeeldingen van een veld en berekend hoeveel procent van de aardappelen en bieten geraakt worden bij verschillende dopafstanden en het wel/niet gebruiken van een optimalisatiescript.

4 Resultaten

4.1 Veldtesten 2019

Tabel 1 toont het resultaat van de testen in mei 2019.

Het valt op dat er op de zandkoppen aanzienlijk minder aardappelopslag gevonden is. Omgerekend zijn er gemiddeld binnen de gemeten plotjes 15900 aardappelopslagplanten per hectare gevonden. De tabel laat tevens wat kleine verschillen zien bij verschillende camera-instellingen. Het is niet duidelijk of de camera-instelling of andere oorzaken de variatie veroorzaakt hebben in de metingen. Gemiddeld werd 66% van de aardappelen correct geraakt en werd 41% van de suikerbieten incorrect geraakt, waarvan 7% omdat de suikerbiet en aardappelplant te dicht op elkaar stonden.

Tabel 1 Resultaten van de tellingen in mei 2019.

Grondsoort	Instelling camera	Geraakte bieten t.o.v. aantal bieten	Geraakte bieten dichtbij aardappel t.o.v. aantal bieten	Geraakte aardappelen t.o.v. aantal aardappelen	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
		%	%	%	
Dal	Licht	44	7	69	18,000
Kop	Licht	57	5	77	10,200
Dal	Donker	31	9	58	21,800
Kop	Donker	31	8	62	13,600
	Gemiddeld	41	7	66	15,900

Tabel 2 en 3 tonen de resultaten van de testen in augustus 2019.

Te zien is dat het hertrainen van het algoritme op nieuwe afbeeldingen effect heeft gehad, aangezien met het hertrainde algoritme van WUR aanzienlijk meer aardappelen zijn geraakt dan bij gebruik van het algoritme van AgroIntelli. Met name de aardappelen op de zandkop werden beter herkend. De hoeveelheid aardappelopslag was ten opzichte van mei een stuk minder, namelijk gemiddeld maar 8050 planten per hectare. Het AgroiIntelli algoritme presteerde in augustus een stuk beter dan in mei.

Tabel 2 Resultaten van de tellingen op 23 augustus 2019 bij AgroiIntelli algoritme.

Grondsoort	Stuifgerst	Geraakte bieten t.o.v. aantal bieten	Geraakte bieten dichtbij aardappel t.o.v. aantal bieten	Geraakte aardappelen t.o.v. aantal aardappelen	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
		%	%	%	
Dal	Niet	8	2	96	6,400
Dal	Wel	6	4	84	7,600
Kop	Niet	3	2	59	8,200
Kop	Wel	3	2	60	10,000
	Gemiddeld	5	2	75	8,050

Tabel 3 Resultaten van de tellingen op 23 augustus 2019 bij WUR algoritme.

Grondsoort	Stuifgerst	Geraakte bieten t.o.v. aantal bieten	Geraakte bieten dichtbij aardappel t.o.v. aantal bieten	Geraakte aardappelen t.o.v. aantal aardappelen	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
		%	%	%	
Dal	Niet	4	3	100	6,400
Dal	Wel	2	1	100	7,600
Kop	Niet	4	2	98	8,200
Kop	Wel	3	1	86	10,000
	Gemiddeld	3	2	96	8,050

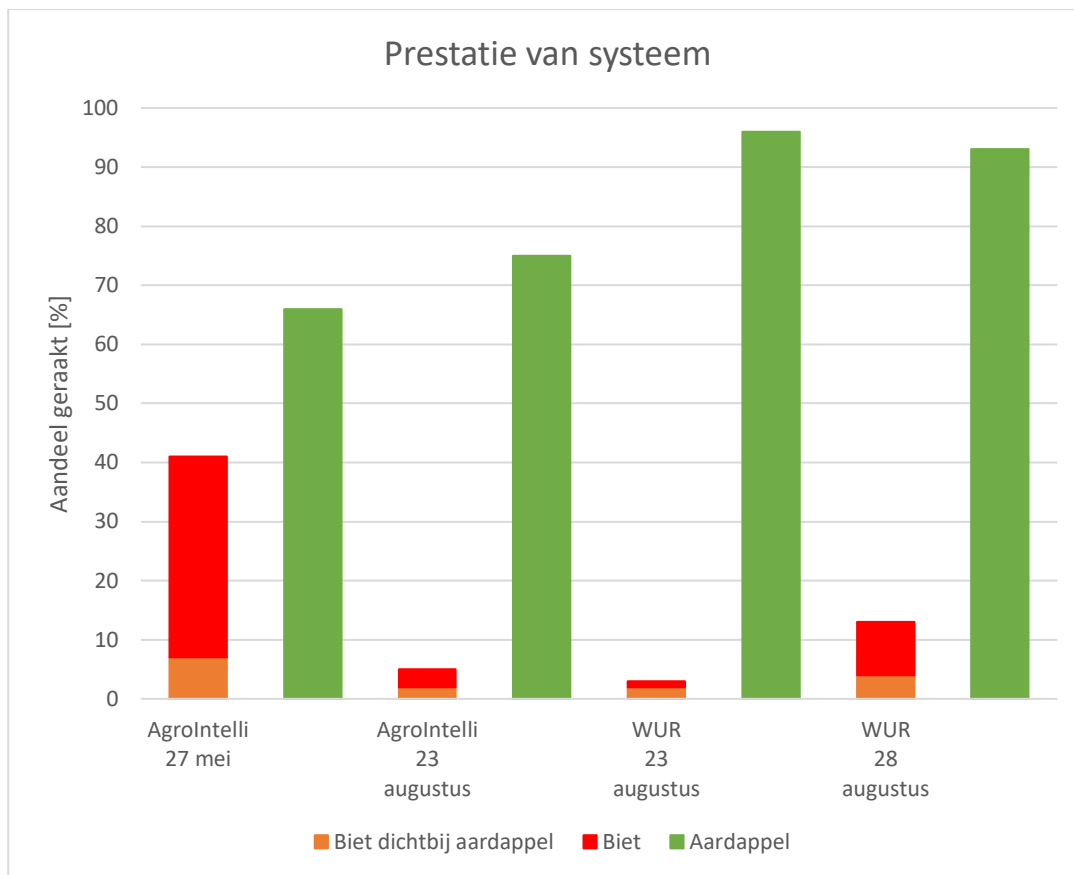
Tijdens de demonstratie met 5G viel op dat er meer bieten geraakt werden dan op 23 augustus. Er zijn daarom opnieuw tellingen gedaan van maar 4 plotjes op 28 augustus.

Tabel 4 laat zien dat er iets minder aardappelplanten op de zandkop geraakt zijn ten opzichte van 23 augustus en dat er in de 4 plots meer bieten geraakt zijn.

Tabel 4 Resultaten van de tellingen op 28 augustus 2019 bij WUR algoritme.

Grondsoort	Stuifgerst	Geraakte bieten t.o.v. aantal bieten	Geraakte bieten dichtbij aardappel t.o.v. aantal bieten	Geraakte aardappelen t.o.v. aantal aardappelen	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
		%	%	%	
Dal	Niet	24	3	100	6,400
Dal	Wel	12	2	100	7,600
Kop	Niet	13	4	90	8,200
Kop	Wel	4	4	83	10,000
	Gemiddeld	13	4	93	8,050

Figuur 10 toont de verschillen in gemiddelde prestatie van het prototype systeem tijdens de verschillende testen met algoritmes.



Figuur 10 Gemiddelde veldprestatie van het prototype tijdens de verschillende testen.

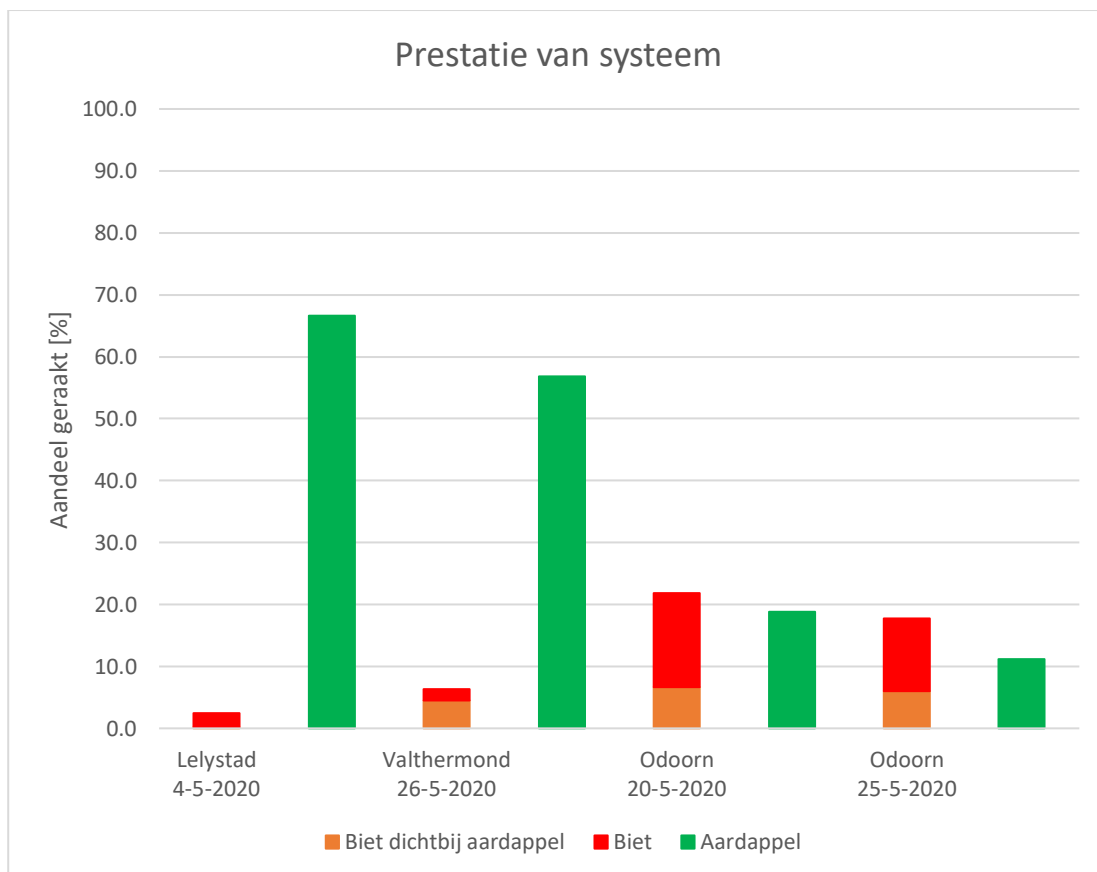
4.2 Veldtesten 2020

4.2.1. Praktijkpercelen

Tabel 5 en figuur 11 tonen de resultaten van de tellingen bij de bespuitingen in Lelystad, Valthermond en Odoorn. Het valt op dat het systeem behoorlijk minder presteerde dan in augustus 2019. Ook valt op dat het systeem met name in Odoorn aanzienlijk minder presteerde. Er zijn behoorlijk meer bieten geraakt en bijzonder weinig aardappelen. Het gewasstadium op het perceel in Odoorn was ten opzichte van 2019 wel verder, daarnaast waren er in de gekozen plotjes ook aanzienlijk meer aardappelopslagplanten te vinden ten opzichte van de plotjes in Valthermond augustus 2019.

Tabel 5 Resultaten van de tellingen op praktijkpercelen 2020.

Locatie	Datum	Geraakte bieten t.o.v. aantal bieten %	Geraakte bieten dichtbij aardappel t.o.v. aantal bieten %	Geraakte aardappelen t.o.v. aantal aardappelen %	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
Lelystad	4-5-2020	2.5	0.2	66.7	1,042
Valthermond	26-5-2020	6.3	4.5	56.8	11,250
Odoorn	20-5-2020	21.8	6.6	18.9	33,450
Odoorn	25-5-2020	17.7	6.0	11.2	29,900



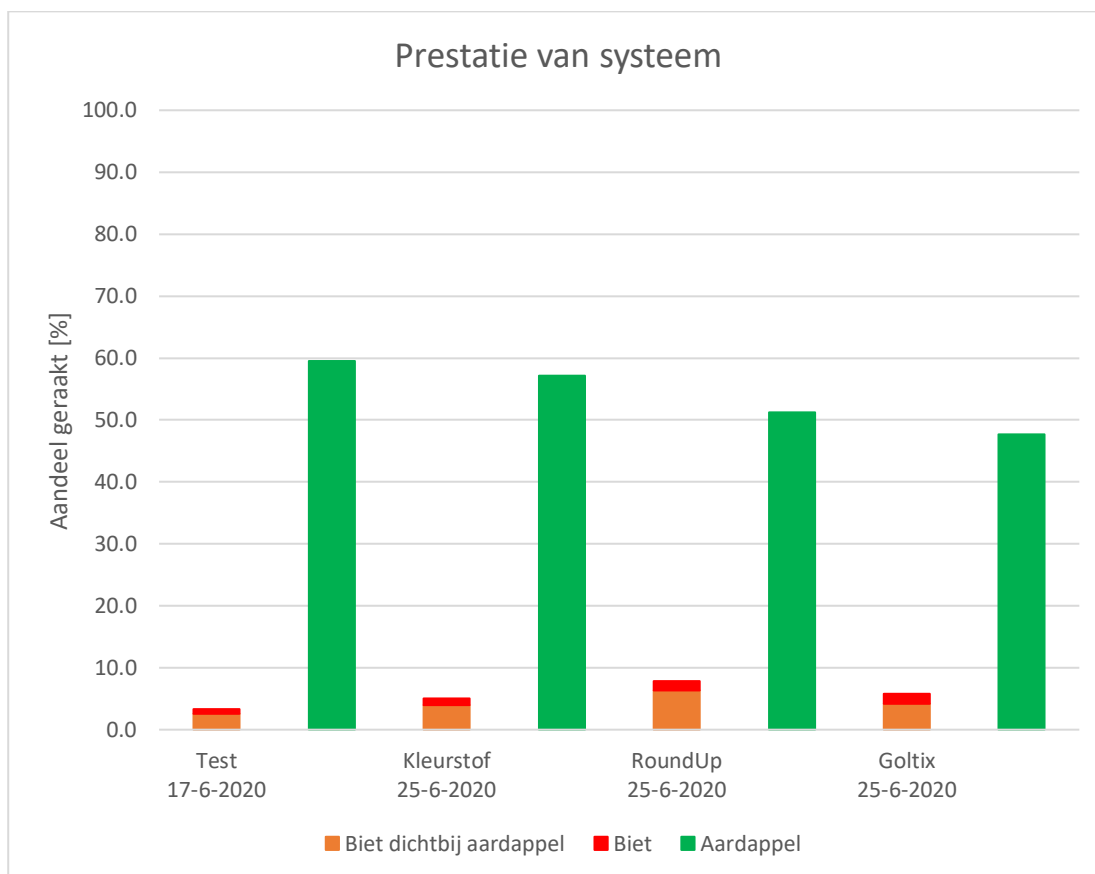
Figuur 11 Veldprestatie van het prototype bij de praktijkpercelen.

4.2.2. Demo Valthermond

Tabel 6 en figuur 12 tonen de resultaten van de tellingen bij een aangelegde demo in juni, waarbij er met verschillende middelen is gespoten. Dit zijn de tellingen gedaan op het moment van spuiten. Te zien is dat het systeem iets beter presteerde dan de teleurstellende resultaten in mei. De hoeveelheid aardappelopslag zat rond de 10000 planten per hectare. Het valt op dat de stroken met bespuitingen op 25 juni iets meer bieten raakten dan op 17 juni. Gemiddeld werd maar 54% van de aardappelplanten geraakt.

Tabel 6 Resultaten van de tellingen in demostroken 2020.

Strook	Datum	Geraakte bieten t.o.v. aantal bieten %	Geraakte bieten dichtbij aardappel t.o.v. aantal bieten %	Geraakte aardappelen t.o.v. aantal aardappelen %	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
test	17-6-2020	3.3	2.6	59.5	10,200
kleurstof	25-6-2020	5.0	4.0	57.2	10,400
RoundUp	25-6-2020	7.8	6.3	51.2	10,500
Goltix	25-6-2020	5.8	4.2	47.7	9,100



Figuur 12 Veldprestatie van het prototype bij het demoveld.

4.2.3. Effectiviteit middel

Ongeveer 2 weken na de bespuitingen met middel zijn opnieuw tellingen uitgevoerd.

Tabel 7 toont nogmaals het percentage geraakte bieten en aardappelen die op het moment van spuiten zichtbaar geraakt werden, tabel 8 toont het percentage gevonden dode bieten en aardappelen ten opzichte van het aantal aardappelen gevonden op het moment van spuiten. Het valt op dat in Lelystad meer dode bieten gevonden zijn dan aanvankelijk tijdens het spuiten werd gedacht. Ook valt op dat er aanzienlijk minder dode aardappelen gevonden zijn dan verwacht. In het veld viel het op dat enkele aardappelplanten bruine bladeren vertoonden, maar ook nog groene vitale stengels hadden. Het aandeel aardappelopslag is overigens van 1042 naar 1500 planten per hectare gegroeid. Er zijn in de tussentijd dus ook nieuwe aardappelen opgekomen.

In de demo in Valthermond zijn helaas alleen het aantal dode bieten geteld. Te zien is dat bij de strook met Goltix het aantal dode bieten erg meevalt ten opzichte van de hoeveelheid bieten die tijdens het moment van spuiten zijn geraakt.

Tabel 7 Verwachte effectiviteit van bespuiting.

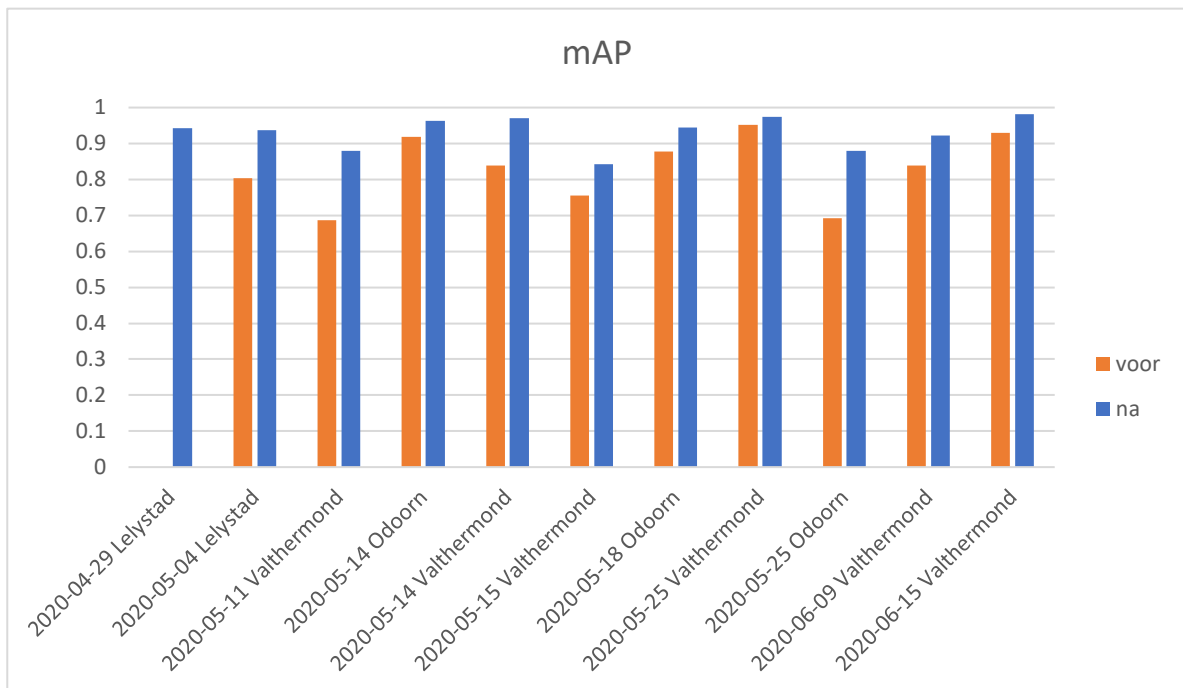
Strook	Datum	Geraakte bieten t.o.v. aantal bieten %	Geraakte aardappelen t.o.v. aantal aardappelen %	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
Lelystad	4-5-2020	2.5	66.7	1,042
Demo-RoundUp	8-6-2020	7.8	51.2	10,500
Demo-Goltix	8-6-2020	5.8	47.7	9,100

Tabel 8 Gemeten effectiviteit van bespuiting.

Strook	Datum	Bieten dood %	Aardappel dood %	Hoeveelheid aardappelopslag aantal per hectare
Lelystad	20-5-2020	6.2	35.2	1,500
Demo-RoundUp	8-6-2020	6.7		
Demo-Goltix	8-6-2020	0.3		

4.3 Analyse performance algoritme

Figuur 13 toont de resultaten van de nauwkeurigheid van het algoritme op verschillende momenten. Het betreft de mean Average Precision vóór hertrainen en ná hertrainen met data vergaard op de verschillende momenten. Bij het hertrainen werd de dataset steeds uitgebreid met nieuwe data. Op 29 april 2020 is het algoritme hertraint op basis van data van die dag en alle eerder verzamelde data. Op 4 mei is het algoritme getest op nieuwe data van 4 mei. Vervolgens is het netwerk hertraint met de eerder verzamelde data en de trainingsdata van 4 mei en is het algoritme nogmaals getest. Op 11 mei is het hertraine algoritme van 4 mei getest op nieuwe data van 11 mei. Vervolgens is trainingsdata van 11 mei toegevoegd, het algoritme hertraint en is het algoritme nogmaals getest. Op 15 juni 2020 is het hertraine algoritme gebaseerd op trainingsdata vergaard in alle 11 meetmomenten van daarvoor (dus cumulatie van alle trainingsdata).



Figuur 13 Resultaten van nauwkeurigheid algoritme op de praktijkpercelen.

Tabel 9 geeft weer met hoeveel afbeeldingen de dataset telkens is uitgebreid.

Tabel 9 Aantal geannoteerde afbeeldingen per meting toegevoegd aan dataset.

Datum opname	Gewas	Locatie	Aantal afbeeldingen
2020-04-29	Beet	Lelystad	124
2020-05-04	Beet	Lelystad	186
2020-05-11	Beet	Valthermond	843
2020-05-14	Beet	Odoorn	389
2020-05-14	Beet	Valthermond	151
2020-05-15	Beet	Valthermond	327
2020-05-18	Beet	Odoorn	98
2020-05-25	Beet	Valthermond	183
2020-05-25	Beet	Odoorn	55
2020-06-09	Beet	Valthermond	72
2020-06-15	Beet	Valthermond	180

Het lijkt erop dat nieuwe data verzamelen in de "gewone" gevallen slechts marginaal effect heeft (zie bijvoorbeeld 2020-05-14 Odoorn, 2020-05-25 Valthermond en 2020-06-15 Valthermond). Het

netwerk presteert in deze gevallen in 'voor hertraining' al erg goed, en de extra verzamelde data leiden tot maar weinig verbetering.

Er waren echter ook momenten waar het algoritme te maken had met nieuwe omstandigheden:

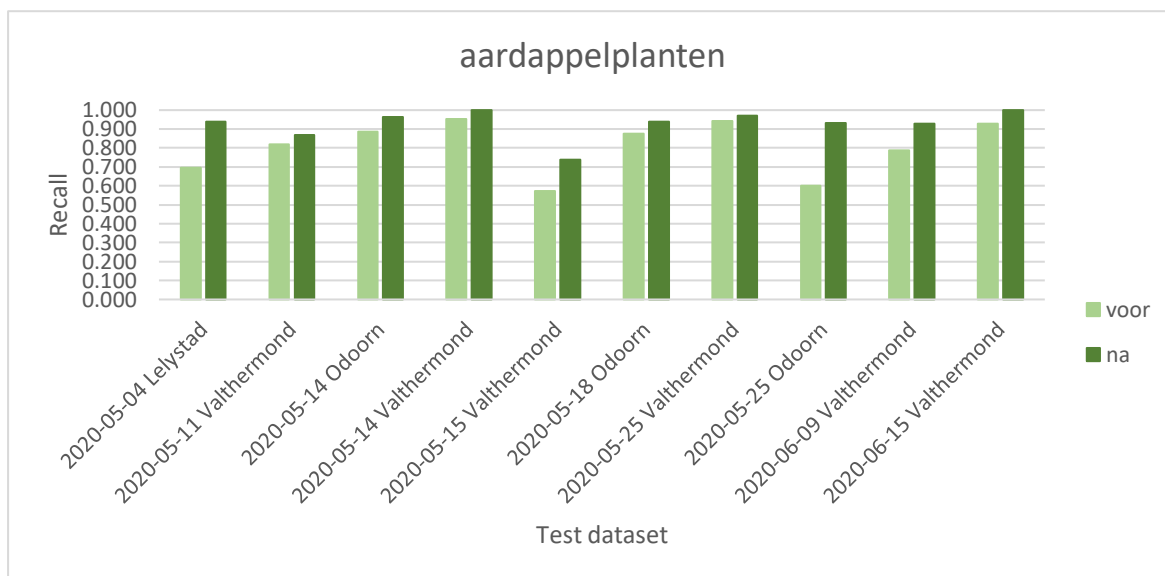
-In de dataset van 2020-05-11 in Valthermond waren er veel bladeren van eikenbomen zichtbaar tussen de planten in de dataset.

-In de dataset van 2020-05-15 in Valthermond waren er veel doodgevroren aardappelplanten zichtbaar in de dataset.

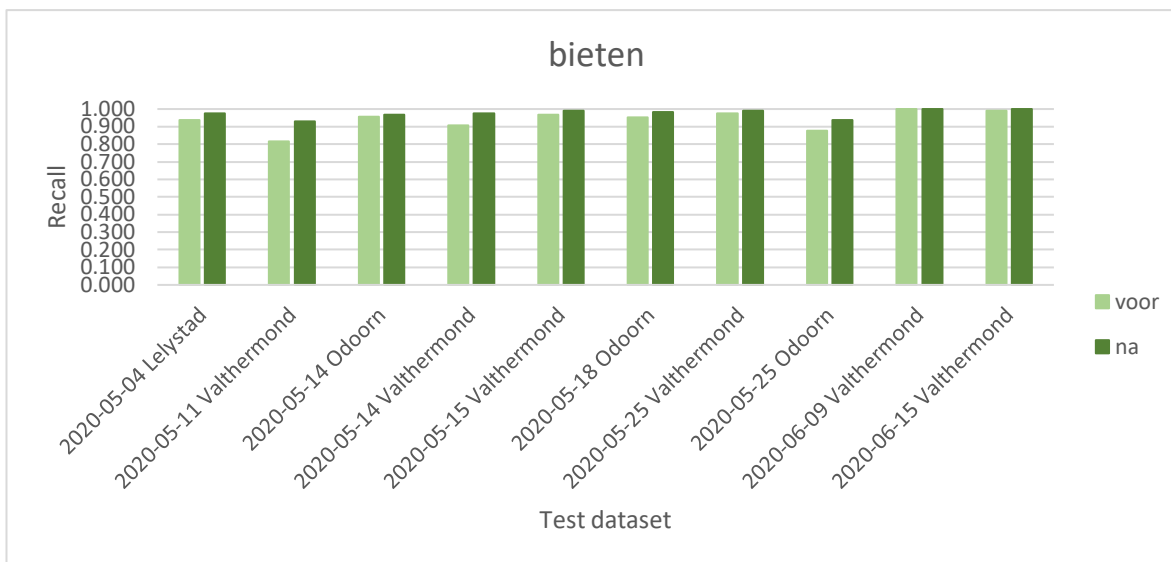
-In de datasets bij Odoorn op 2020-05-18 en 2020-05-25 was het gewasstadium van de bieten al verder gevorderd BBCH 18-20 t.o.v. gewasstadium 14-18 in Valthermond. Het algoritme had in de complete trainingsdataset nog weinig grote bieten zitten. Met name bij 2020-05-11 Valthermond en 2020-05-25 Odoorn is te zien dat de mAP duidelijk verbetert na hertrainen van het algoritme met recente data.

Verder is te zien dat het algoritme redelijk presteert met een mAP die bij nieuwe omstandigheden boven de 0.7 blijft en bij 'gewone' omstandigheden boven de 0.9. Gemiddeld is er vóór training een mAP van 0.83 gehaald en na training 0.93.

Figuur 14 toont welk aandeel van de aardappelplanten is gedetecteerd. Voor hertrainen zijn gemiddeld 80.6% van de aardappelplanten gedetecteerd, na hertrainen gemiddeld 92.8%. Ook hier zitten grote verschillen tussen de metingen. Zo vallen 2020-05-04 Lelystad, 2020-05-15 Valthermond, 2020-05-25 Odoorn en 2020-06-09 Valthermond op omdat hertrainen tot aanzienlijke verbetering leidde. Dit is te verklaren aan de hand van de beschikbare data. Bij 2020-05-04 Lelystad waren de afbeeldingen van de foto's onscherp, wat de detectie bemoeilijkte. Bij 2020-05-15 Valthermond waren de aardappelplanten doodgevroren, wat nog niet eerder door het algoritme gezien was. Bij 2020-05-18 Odoorn waren er ook doodgevroren aardappelplanten zichtbaar, echter heeft het algoritme door hertrainen op 2020-05-15 Valthermond daar al beter mee leren omgaan. Bij 2020-05-25 Odoorn waren de bieten erg groot, waardoor deze planten delen van aardappelplanten bedekten.



Figuur 14 Aandeel aardappelplanten gedetecteerd op de praktijkpercelen.



Figuur 15 Aandeel bieten gedetecteerd op de praktijkpercelen.

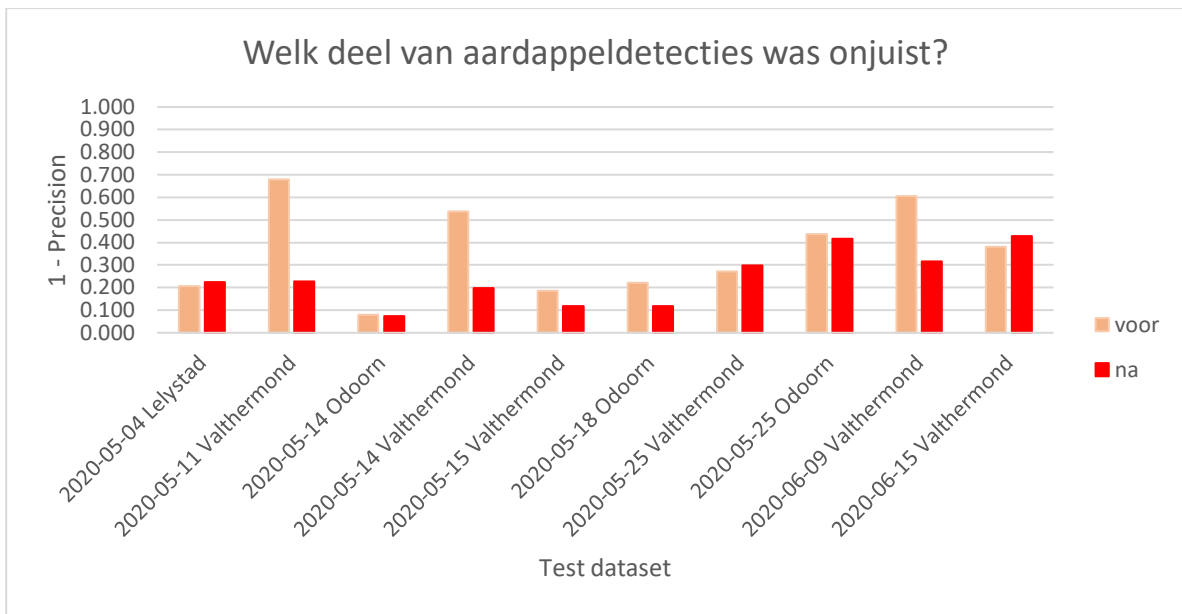
Figuur 15 toont welk aandeel van de suikerbietplanten is gedetecteerd. Zoals te zien is worden de bieten zeer goed gedetecteerd. Voor hertrainen werden er gemiddeld over alle momenten 93.8% van de bieten correct gedetecteerd, na hertrainen gemiddeld 97.5%. Bij met name de datasets van 2020-05-11 Valthermond, 2020-05-14 Valthermond en 2020-05-25 Odoorn is een verbetering van bietendetectie te zien door hertrainen. De dataset van 2020-05-11 Valthermond is de eerste dataset in 2020 in Valthermond geweest. Bij de andere 2 datasets waren de bieten groter dan in eerdere datasets, waardoor het algoritme meer moeite had met de detectie.

Figuur 16 laat zien welk deel van de aardappeldetectie onjuist was. Het algoritme kan een onjuiste detectie hebben gedaan op (een deel van) een bietenplant, ander onkruid, takjes, bladeren, etc., maar kan ook meer detecties op een aardappelplant hebben gedaan dan aangegeven in de validatieset. Bijvoorbeeld als het algoritme twee stengels of bladeren als twee planten heeft aangemerkt, terwijl in de validatieset dit als één plant is aangegeven.

In de grafiek is in ieder geval te zien dat het trainen veel nut heeft gehad bij 2020-05-11 Valthermond, 2020-05-14 Valthermond en 2020-06-09 Valthermond, waar het aantal incorrecte classificeringen na hertrainen een stuk lager is. Op die momenten waren de omstandigheden anders, zoals voorkomen van eikenbladeren, grotere bieten of andere lichtomstandigheden.

Bij 2020-05-25 Valthermond, 2020-05-25 Odoorn, en 2020-06-15 Valthermond leidde hertraining met nieuwe data niet tot nauwelijks betere prestaties. Nadere analyse toont aan dat bij 2020-05-25 Valthermond bijna alle onjuiste aardappeldetecties veroorzaakt zijn door dubbele detectie van eenzelfde aardappelplant.

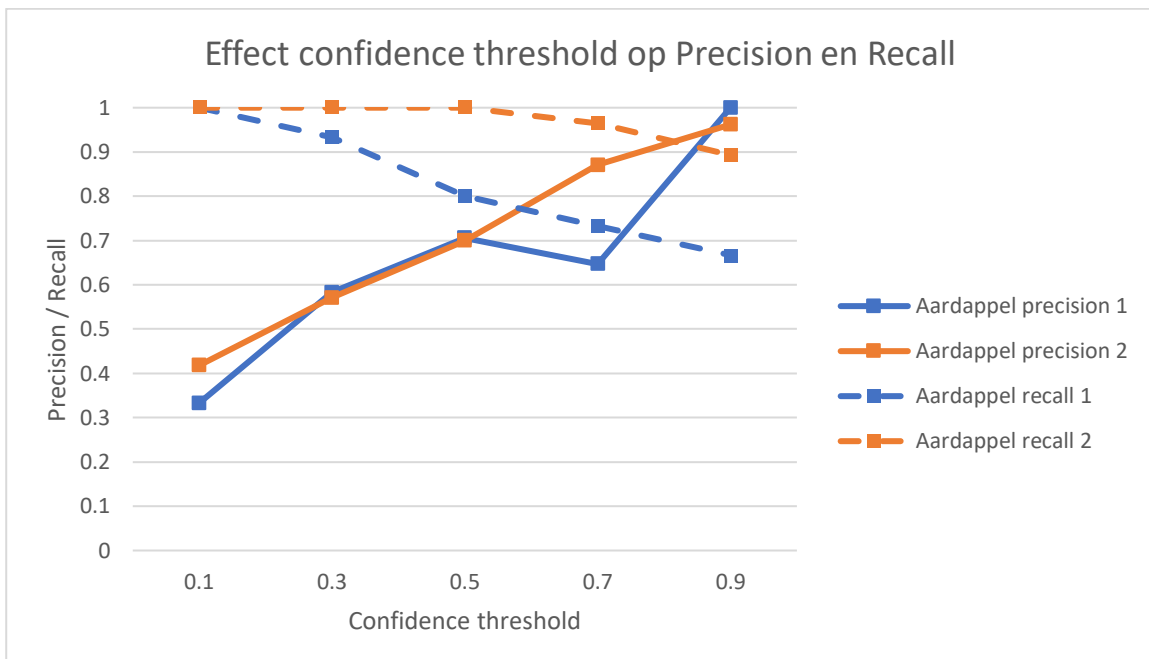
Verder toont de nadere analyse aan dat bij 2020-05-25 Odoorn was ong. 50% van de onjuiste aardappeldetecties een dubbele detectie van een aardappelplant, ong. 25% ander onkruid of blaadjes op de grond, en ong. 25% (delen van) bieten planten. Voor 2020-06-15 Valthermond was het grootste deel (ong. 85%) dubbele detecties van een aardappelplant, de rest waren detecties van ander onkruid en blaadjes.



Figuur 16 Aandeel van aardappeldetecties welke onjuist was.

Zoals al beschreven heeft de ingestelde confidence level, een zekerheidskans die overschreden moet worden om een object de classificatie biet of aardappel te geven, invloed op de precision en recall van het algoritme. Voor dataset 2020-05-25 Odoorn (1) en 2020-06-15 Valthermond (2) zijn voor vijf verschillende confidence levels de precision en recall door gerekend. Het resultaat is in figuur 17 te zien.

Bij de figuren 14 t/m 16 was een confidence threshold van 0.5 gekozen. In figuur 17 is te zien dat de recall relatief hoog is en de precision relatief laag is bij deze waarde, voor zowel dataset 1 (Odoorn) als dataset 2 (Valthermond). Het is mogelijk ervoor te zorgen dat bijna alle gemaakte aardappeldetecties (90-100%) juist zijn (hoge precision) door een hoge confidence threshold in te stellen. Als neveneffect wordt een deel van de aardappelplanten gemist (lagere recall). Bij bijvoorbeeld een confidence level van 0.9 is de precision 95-100%, echter worden daardoor bij 2020-05-25 Odoorn 45% van de aardappelplanten gemist en bij 2020-06-15 Valthermond 10%. Er kan een compromis worden gevonden door bijv. een confidence threshold van 0.7 te kiezen.



Figuur 17 Effect van confidence threshold op de Precision en Recall van het algoritme.

Naast het detecteren van aardappelopslag in suikerbieten is ook gewerkt aan aardappelopslag in uien. Uit alle opgeslagen uien afbeeldingen zijn 490 afbeeldingen geannoteerd, waarbij uien en aardappelplanten zijn geclassificeerd. Met 70% hiervan (344 afbeeldingen) is een algoritme getraind. De overige 30% is gebruikt voor validatie tijdens en na het trainen. Tabel 10 toont de precision, recall en mean average precision (mAP).

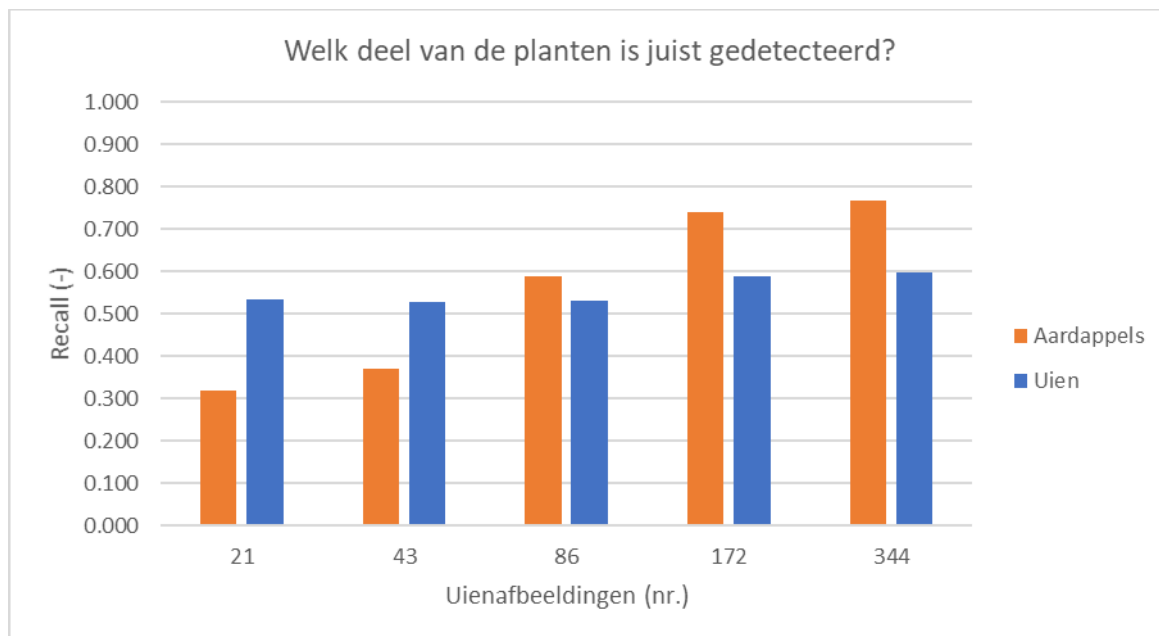
Goed is om op te merken dat de annotaties geen "gouden standaard" zijn. Dit betekent dat als twee verschillende mensen dezelfde afbeelding annoteren er net andere annotaties uitkomen. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat je uit een foto van bovenaf niet altijd kunt zien welke plantdelen bij welke plant horen, zeker bij uien is dit het geval. Deze aard van de annotaties heeft negatief effect op de metrics (precision, recall en mAP), waardoor deze nooit op 1.00 zullen eindigen. Daar staat tegenover dat een detectie die als fout wordt gerekend in de praktijk alsnog het goede resultaat kan hebben. De metrics geven dus een indicatie van de prestatie, maar dit is niet een-op-een naar de praktijk te vertalen.

Tabel 10 Precision, Recall en Mean Average Precision voor uienalgoritme.

Class	Precision (P)	Recall (R)	mAP@0.5
all	0.80	0.68	0.68
potato	0.87	0.77	0.80
onion	0.73	0.60	0.55

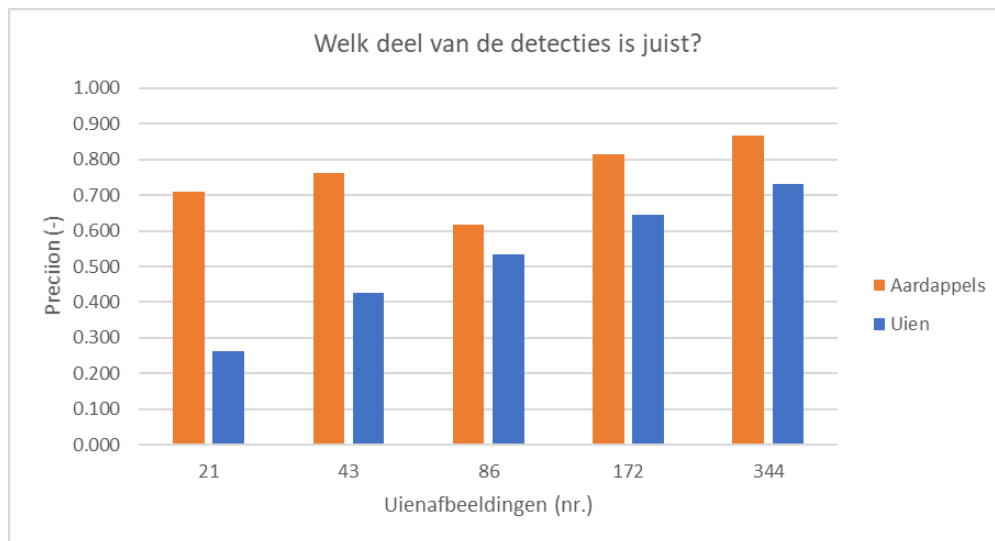
Er is ook gekeken naar de relatie tussen de hoeveelheid afbeeldingen en de prestatie van het netwerk. Hiervoor zijn meerdere netwerken getraind voor hetzelfde doel, met telkens meer afbeeldingen in de trainingsset. Figuren 18 en 19 laten de precision en recall zien voor deze getrainde netwerken.

In figuur 18 is een duidelijk verband te zien tussen het aantal afbeeldingen in de trainingsset en het aantal gevonden aardappelen. Het toevoegen van meer afbeeldingen waarop aardappelen te zien zijn, verbetert de detectie van aardappelplanten sterk. De stijging lijkt bij 344 afbeeldingen nog niet afgevlakt, wat inhoudt dat het verzamelen, annoteren en toevoegen van meer afbeeldingen tot een nog betere detectie leidt. Let wel dat de datahoeveelheid op de y-as telkens verdubbeld. Het wordt dus steeds kostbaarder om de prestatie te verhogen door meer afbeeldingen toe te voegen aan de trainingsset. Het verband is minder aanwezig voor de uienetectie.



Figuur 18 Aandeel aardappelen en uien gedetecteerd.

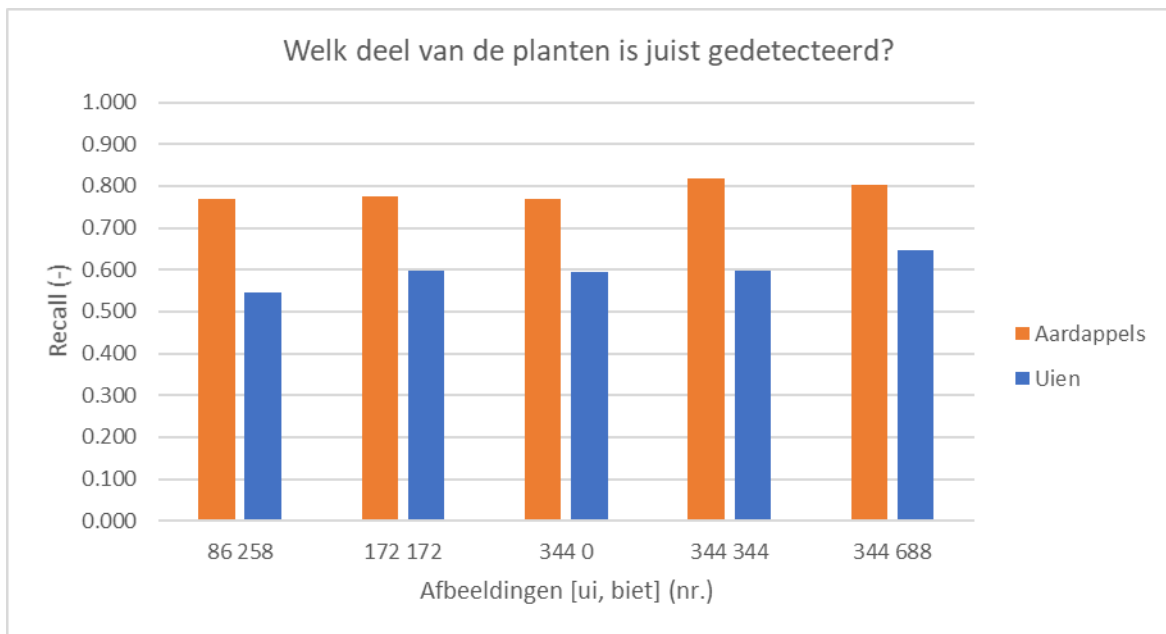
Figuur 19 laat zien dat er zowel bij uien als bij aardappelen een verband is tussen het aantal afbeeldingen en juiste classificaties van gedetecteerde objecten. Het effect is sterker voor uien dan voor aardappelen. Bij toevoeging van meer afbeeldingen neemt dus het juist classificeren (label ui of aardappel aan een detectie toevoegen) toe. Bij 86 afbeeldingen is er voor aardappelen wel een dip te zien, maar dit lijkt meer een uitbijter te zijn. Het toevoegen van meer data om de precision te verhogen lijkt dus hoopgevend.



Figuur 19 Aandeel aardappelen en uien juist geclassificeerd.

Figuren 20 en 21 tonen de precision en recall voor het detecteren van aardappelen en uien, waarbij de uien dataset is uitgebreid met afbeeldingen uit de bietendataset. Figuur 20 laat zien dat de verhouding tussen de hoeveelheid aardappel- en uienafbeeldingen weinig effect lijkt te hebben op de recall. Er is een lichte stijging te zien maar het verschil is nihil.

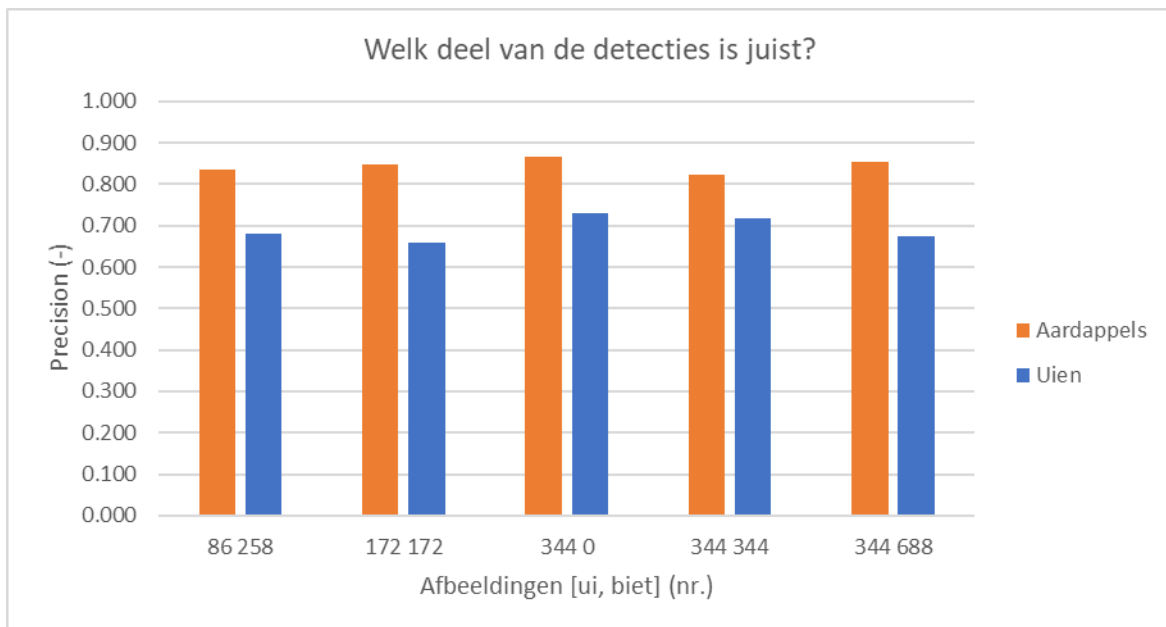
Wel is het interessant om bij de staafgrafiek met label [86, 258] in figuur 20 te vergelijken met 86 uit figuur 18. Dan is duidelijk te zien dat het aandeel aardappelen gedetecteerd sterk is toegenomen (0.768 t.o.v. 0.587). Voor de uien is een lichte stijging te zien, maar veel minder sterk. Dit betekent dat het toevoegen van de bietenafbeeldingen vooral de detectie van aardappelen in het uienalgoritme heeft verbeterd en de detectie van uien niet in de weg zit. Wel is goed hierbij te noemen dat de groottes van de trainingsets niet gelijk zijn. Het toevoegen van de bieten data heeft dus alleen zin als uien data niet beschikbaar is maar bieten data wel. Voor de staafgrafiek met label [172, 172] in figuur 20 t.o.v. 172 in figuur 18 is dit effect bijna niet meer te zien, wat inhoudt dat het toevoegen van de bietenafbeeldingen in dit geval minder effect heeft gehad. Als er dus al meer uienafbeeldingen zijn heeft het toevoegen van bieten data relatief minder effect op de recall. Ten slotte lijkt het toevoegen van meer bietenafbeeldingen t.o.v. uienafbeeldingen (staafgrafiek met labels [344, 344] en [344, 688] in figuur 20) niet direct effect heeft op recall van zowel aardappelplanten als uien.



Figuur 20 Aandeel aardappelen en uien gedetecteerd met toevoeging van bietenafbeeldingen aan uien dataset.

Figuur 21 laat zien dat verhouding bietendata – uien data weinig doet voor het aandeel juiste classificaties voor aardappel en uien. Wel is het interessant om staafgrafiek met label [86, 258] in figuur 21 te vergelijken met 86 uit figuur 19. Dan is duidelijk te zien dat de precision voor de aardappelplanten sterk is toegenomen (0.834 t.o.v. 0.616). Voor de uien is ook een stijging te zien (0.681 t.o.v. 0.533). Dit betekent dat het toevoegen van de bietenafbeeldingen de classificatie van aardappel- en de uien detectie heeft verbeterd. Voor staafgrafiek met label [172, 172] in figuur 21 is dit effect bijna niet meer te zien, wat inhoudt dat het toevoegen van de bietenafbeeldingen veel minder effect heeft gehad. Als er dus al meer uienafbeeldingen zijn heeft het toevoegen van bietendata relatief minder effect op de precision. Ten slotte lijkt het toevoegen van meer bietenafbeeldingen t.o.v. uienafbeeldingen (labels [344 344] en [344 688] in figuur 21) een negatief effect heeft op de precision van de uien, t.o.v. de precision bij 344 gezien in grafiek 19. Het is dus oppassen met het toevoegen van veel "niet-specifieke" data, omdat dit de detectie van de gewenste objecten (in dit geval uien en aardappelen) kan schaden.

Kortom: het lijkt erop dat het toevoegen van bietenafbeeldingen alleen nuttig is als er niet genoeg specifieke data is (in dit geval uienafbeeldingen). Anders heeft het niet direct toegevoegde waarde.



Figuur 21 Aandeel aardappelen en uien juist geïdentificeerd met toevoeging van bietenafbeeldingen aan uien dataset.

4.4 Doorontwikkeling spuittechniek

Het doel van de doorontwikkeling van de spuittechniek is om een nauwer spuitbeeld te krijgen met minder drift en minder middelgebruik. De gebruikte mix van water met chemische (toevoeg) middelen hebben effect hierop, evenals de spuitdruk, het gekozen afgifte systeem en de dopafstand.

Het huidige prototype beschikt al over een redelijk niveau van precisie, die mogelijk met middelen en andere doppen te verbeteren is. Uit gesprekken met experts lijkt qua dop de Agrotop SpotFan 40-03 geschikt te zijn om een nauwer spuitbeeld te realiseren (persoonlijke communicatie Jan van der Zande en Bram Veldhuisen).

Om te voorkomen dat middelen als glyfosaat naast het gewenste object terecht komen, zijn er toevoegmiddelen beschikbaar om de viscositeit te verhogen en/of verdamping in te perken. Dropkeeper verhoogt de viscositeit van druppels. Elasto G5 verlaagt de verdamping en zorgt ervoor dat een glyfosaatmolecuul langer in een waterdruppel opgesloten blijft. Hierdoor wordt de kans vergroot om door het blad opgenomen te worden. Voor een spuitsysteem wat relatief veel water verbruikt, wordt geadviseerd om water met 1% glyfosaat en 0.06% Dropkeeper te gebruiken (persoonlijke communicatie Hans de Ruiter, Surfaplus).

Het prototypesysteem van AgroIntelli stond ingesteld op ca 2-3 bar en heeft 29 spuitdoppen geplaatst. Bij een werksnelheid van 4 km/h en volvelds spuiten zou dit systeem tussen 1440 – 1770 liter per hectare verspuiten, wat een veelvoud is van de hoeveelheid mix bij conventionele spuiten. Deze hoeveelheid heeft ook invloed op de opname van het middel op het gewas (ernaast spuiten en druppels die van het blad rollen). Door de druk te verlagen en daarmee de dosering onder de 250 l/ha te krijgen wordt het afrollen van druppels sterk gereduceerd. Er zijn daarom testen in een spuitlab gedaan om tot een optimale spuitdruk en concentratie toevoegmiddel te komen van glyfosate-360 en Dropkeeper. De resultaten staan in tabel 10.

Tabel 11 Resultaten spuitlab metingen op spuitdruk en concentratie Dropkeeper.

Omschrijving	0.8			1.0			1.5		
Spuitdruk [bar]	0.8			1.0			1.5		
Concentratie Dropkeeper [%]	0.0	0.06	1.0	0.0	0.06	1.0	0.0	0.06	1.0
Afgifte per dop l/min	0.8	0.73	0.76	0.89	0.83	0.82	1.07	1.02	-
Gemiddelde afgifte 9 doppen [ml/min]	217.4	251.1	261.8	235.0	258.5	255.6	239.8	277.9	-
Stdev	170.8	228.4	176.0	163.3	202.4	168.9	176.3	178.0	-
%VC	78.6	90.9	67.2	69.5	78.3	66.2	73.5	64.1	-
N (aantal buizen met opgevangen vloeistof)	33	26	26	34	29	29	40	33	-
Spuitbreedte per dop [cm]	9.2	7.2	7.2	9.4	8.1	8.1	11.1	9.2	-

Het verlagen van de druk van 1.5 naar 1.0 naar 0.8 bar verlaagt de afgifte per dop van 1.07 naar 0.89 naar 0.8 l/min. Het spuitbeeld is tevens smaller van 11.1 naar 9.4 naar 9.2 cm breed gemiddeld per dop. Door het toevoegen van Dropkeeper in 0.06% concentratie en het verlagen van de druk van 1.5 naar 1.0 naar 0.8 bar gaat de afgifte omlaag van 1.02 naar 0.83 naar 0.73 l/min per dop gemiddeld. Het spuitbeeld wordt smaller van 9.2 naar 8.1 naar 7.2 cm breed gemiddeld

Dus door het verlagen van de druk naar 0.8 bar en door toevoegen van Dropkeeper (0.06%) wordt het spuitbeeld verlaagd naar 0.73 liter per minuut per dop bij gemiddeld 7.2 cm brede bedekking. Bij water is dit bij 0.8 bar 0.8 liter per minuut en 9.2 cm breed.

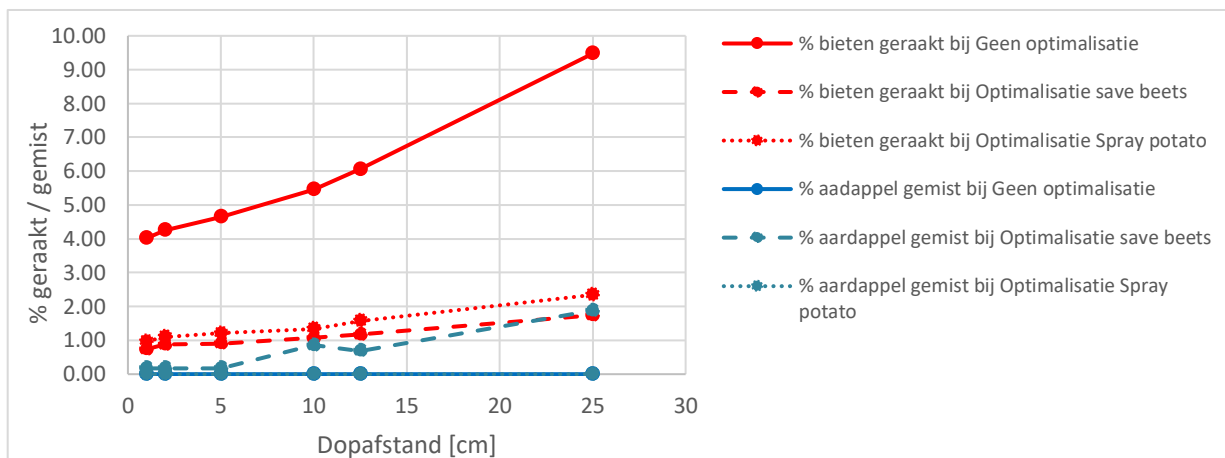
Een uitgebreid meetverslag is in bijlage 1 toegevoegd.

Een interessante ontwikkeling is te vinden bij Tillet and Hague Technology, die ook werken aan een Spot Sprayer. Zij hebben een eigen dopsysteem ontworpen om precies te kunnen spuiten. Het systeem werkt optimaal bij een druk van 1.5 bar en resulteert dan in een dosering van 450 liter spuitvloeistof per hectare. Dit is aanzienlijk minder dan bij de Agrotop Spotfan 40-03, echter nog steeds boven de gewenste dosering van 50-200 liter per hectare. In combinatie met PWM-techniek kan de dosering mogelijk wel omlaag tot 50-200 l/ha. Uit berekeningen lijkt dit het geval bij 20 tot 40% van de PWM opening. De complete machine voor aardappelopslag bestrijding is beschikbaar via Homburg Holland voor toepassing van aardappelopslagbestrijding.



4.5 Simulaties dopafstanden en optimalisatie 2020

Voor het simuleren van de dopafstanden en bounding box optimalisatie is een dataset met 1086 afbeeldingen van camera 3 van 22 mei 2019 gebruikt. In deze dataset heeft het algoritme 2987 suikerbiet planten gevonden en 585 aardappelplanten. Met de simulatie is geteld hoeveel van deze suikerbietplanten er geraakt werden en hoeveel van deze aardappelplanten er gemist worden en omgerekend in het aantal ten opzichte van de totaal gedetecteerde suikerbieten of aardappelen. In het optimalisatiescript is een instelling ingebouwd om bij erg veel overlap tussen suikerbiet en aardappel, de suikerbiet te sparen en niet te spuiten (Optimalisatie Save beets). De andere keuze is om de suikerbiet op te offeren voor de aardappel (Optimalisatie Spray potato). Figuur 21 toont het effect van de dopafstand op het aandeel geraakte bieten en gemiste aardappelen ten opzichte van alle gedetecteerde bieten en aardappelen.



Figuur 22 Effect van dopafstand en optimalisatie op aandeel geraakte bieten- en aardappelplanten.

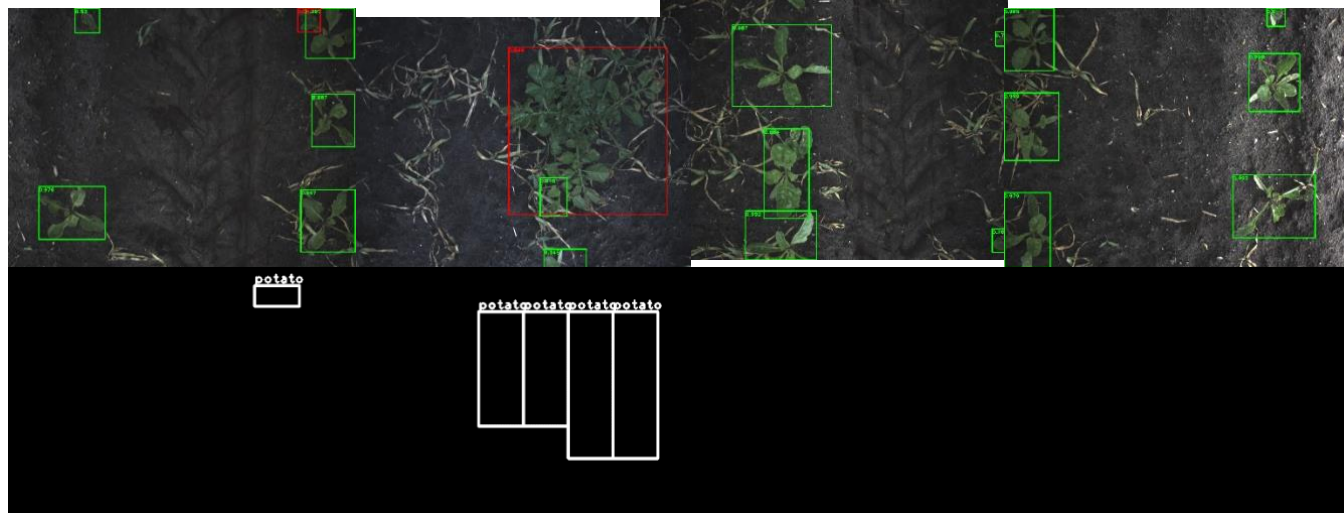
Te zien is dat er zonder optimalisatie bij een dopafstand van 10 cm 5.5% van de gedetecteerde bieten geraakt worden. Een kleinere dopafstand zorgt hierin voor een verbetering. Tevens is te zien dat het optimaliseren van de aardappel bounding boxen tot een aanzienlijke verbetering leidt. Door de instelling "Save beets" worden minder bieten geraakt, echter worden er ook meer aardappelen gemist zoals verwacht. Verder is te zien dat het aandeel geraakte bieten of gemiste aardappelen ook bij optimalisatie licht toeneemt bij toenemende dopafstand. Het effect is echter klein tussen 1 en 10 cm voor het aantal geraakte bieten. Het aandeel gemiste aardappelen is 0% bij geen optimalisatie en wanneer 'altijd gespoten' wordt ongeacht of er een suikerbiet dichtbij staat en ongeacht de dopafstand.

Op pagina 36 staan twee voorbeelden van gedetecteerde objecten op een moment. Aangezien het systeem 4 camera's heeft, wordt de detectie op 4 afbeeldingen gedaan. De 4 afbeeldingen zijn naast elkaar gezet met daarin de detectie getekend. Zie de gekleurde afbeeldingen naast de tekst 'output herkenning'. Het optimalisatiescript herdefinieert vervolgens de bounding boxen van de aardappelen (rode kleur) met de posities van de spuitdoppen. Deze nieuwe bounding boxen staan in het zwart wit plaatje getekend, naast de tekst 'Output optimalisatie'.

Figuur 23 Twee voorbeelden van optimaliseren aardappel bounding boxen.

Voorbeeld 1:

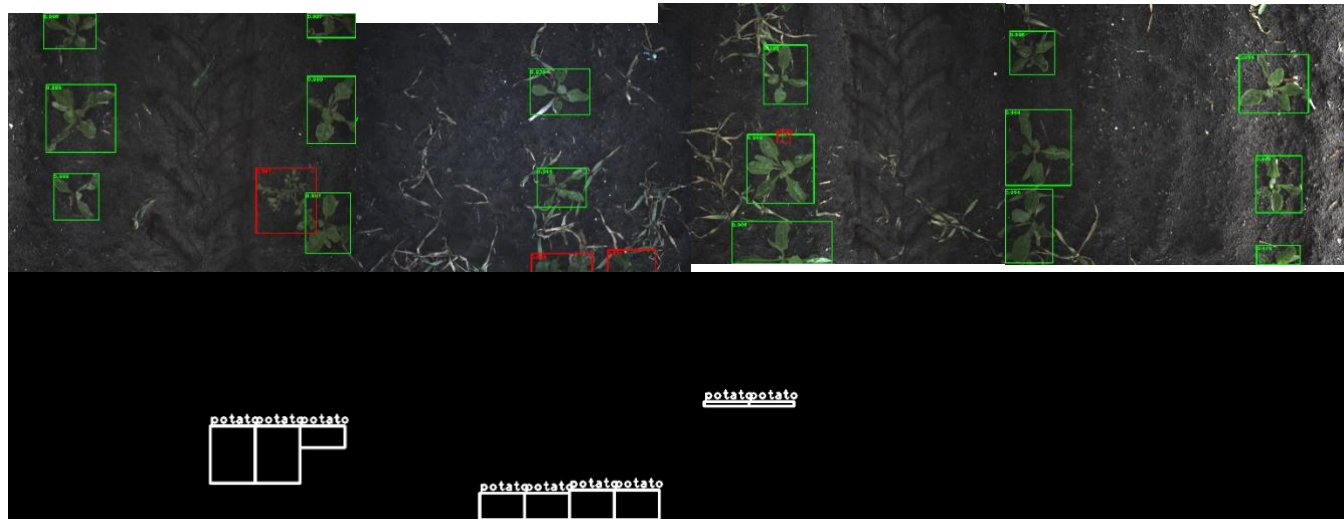
Output herkenning:



Output optimalisatie:

Voorbeeld 2:

Output herkenning:



Output optimalisatie:

5 Discussie

Bij het testen en demonstreren van de toepassing in 2019 bleek dat het systeem nog niet voldoende robuust was om voldoende aardappelen te raken en een laag percentage bieten. Dit kwam hoogstwaarschijnlijk omdat het herkenningsalgoritme met nieuwe veldomstandigheden te maken kreeg die het nog niet eerder had gezien. Het ging hier bijvoorbeeld om vorstschade in de aardappelen en bieten én opkomstproblemen bij bieten door aantasting van zwarte bonenluis. Door het verzamelen van voldoende voorbeelden van deze nieuwe omstandigheden en het hertrainen van het algoritme kon er in augustus 2019 bijzonder goede resultaten gehaald worden. Wel bleek dat op 28 augustus het systeem weer iets minder presteerde dan op 23 augustus. In 5 dagen tijd waren de bieten aanzienlijk gegroeid door vocht en zon. Het leek erop dat het algoritme nog niet veel voorbeelden had gezien van suikerbieten in een later gewasstadium.

De ervaringen in 2019 leidde tot een bijgestelde aanpak in 2020, waarbij er telkens een dag voor een spuittest met de spot sprayer nieuwe data van het veld verzameld werd en het algoritme hertraint werd. Dit werd gedaan om telkens zeker te zijn van een goed werkende herkenning. De berekeningen in nauwkeurigheid van het algoritme laten zien dat hertrainen in een aantal gevallen zeker nut hebben gehad, doordat het beter overweg kon met grotere aardappelen en bieten, bladeren van eikenbomen die tussen de bietenplanten lagen en andere omstandigheden. Gemiddeld werd 97% van de bieten na hertraining gevonden door het algoritme en ca 93% van de aardappelen. Van de gedetecteerde aardappelen bleek echter ook nog een deel onjuist gedetecteerd te zijn. Gelukkig was een groot deel hiervan te wijden aan dubbele detecties van eenzelfde aardappelplant en/of onkruiden.

De hoop was dat we een eenduidige stijgende lijn zouden zien in mean Average Precision (mAP), aangezien er steeds nieuwe data is toegevoegd om het algoritme te trainen. Hieruit zou dan afgeleid kunnen worden hoeveel nieuwe data verzameld zou moeten worden voor een robuust algoritme. Helaas was de trend in de grafiek erg wisselend, waardoor we dit niet uit de cijfers kunnen afleiden. Wel is te zien dat het algoritme over het algemeen goed gepresteerd met een minimaal mean Average Precision van 0.7. De ervaring leert ook dat het systeem vooral in het beginstadium van de bieten goed is in te zetten tot een gewasstadium van BBCH van ca 14. Daarna beginnen bladeren van bietenplanten elkaar in de rij te overlappen, wordt de detectie moeilijker en wordt de kans groter dat bieten sneller geraakt worden door overlap met aardappelloof.

Ondanks dat het algoritme zelf redelijk presteerde, zagen we in de veldtesten dat het systeem onvoldoende robuust was. De hoeveelheid aardappelplanten die geraakt werden wisselde tussen de 11 en 67%. De hoeveelheid bieten die geraakt werden wisselde tussen 2.5 tot 22%. Met name in Odoorn werden op 20 en 25 mei behoorlijk veel bieten geraakt (22 en 18%) en weinig aardappelen (19 en 11%). Op 18 mei is er data opgenomen. Het algoritme leek voor en na hertrainen op die datum prima te presteren. De aanname is dus dat 20 mei het algoritme goed presteerde. Op 25 mei was het algoritme niet hertraint. Tijdens het spuiten is het algoritme van 18 mei en 20 mei gebruikt. In de analyse achteraf bleek dat hertrainen met data van 25 mei een behoorlijke verbetering bracht in de detectie van met name aardappelen.

Een andere oorzaak voor de slechte veldprestatie is te vinden in de systeemintegratie, zoals bij de materialen en methoden is uitgelegd. De spuitcontroller zelf kon WUR echter niet zelf programmeren. De spuitcontroller die de bounding boxen van de aardappelplanten moet verwerken en de doppen aanstuurt kon maximaal 5 bounding boxen per seconde verwerken. Per camera worden er 2 tot 5 afbeeldingen per seconde gemaakt. Bij een werksnelheid van 1 m/s kan een plant 2-3 keer worden zien. Totaal onder de kap hangen 4 cameras die een oppervlakte van ca 1.7m² overzien. In Odoorn stonden relatief veel aardappelopslagplanten, omgerekend 3 planten per m², t.o.v. ca 0.8 planten per m² tijdens de andere testen. Onder de kap waren er dan gemiddeld al 5 planten zichtbaar, die ook nog eens meerdere keren gedetecteerd kunnen worden binnen een seconde. De kans is dus groot dat bij relatief veel aardappelplanten de spuit te laat spuit, waardoor bieten geraakt zijn en aardappelplanten gemist zijn. Dit zou verklaren waarom de resultaten bij Odoorn zo slecht waren. Door het optimaliseren van de bounding boxen komen er nog eens een veelvoud aan bounding boxen bij. In de demo in Valthermond in juni waren de veldresultaten waarschijnlijk weer beter omdat a) het

gewasstadium van de bieten en aardappelen weer kleiner was en b) er relatief minder aardappelen stonden en c) het optimalisatiescript uitgezet was. Desondanks werd er maar gemiddeld 54% van de aardappelopslag geraakt.

Theoretisch gezien kan de prestatie van het algoritme zelf met slimme post-processing verbeterd worden. Hierbij moet gedacht worden aan het optimalisatie script om bounding boxen te herdefiniëren, maar ook aan een oplossing waarbij vaker naar dezelfde plant gekeken wordt. Als bijv. dezelfde plant in 4 afbeeldingen zichtbaar is en het algoritme zegt dat het 3 keer suikerbiet is en 1 keer aardappel, dan kun je aannemen dat het een suikerbiet is. Hiermee wordt de robuustheid van detectie in ieder geval verbeterd. Ook kan er door de keuze van confidence level gespeeld worden om een verhouding tussen recall en precision te verbeteren.

Er is in het project beperkt gewerkt aan een herkenningsalgoritme voor aardappelopslag in uien. Er zijn uiteindelijk 490 afbeeldingen geannoteerd, waarbij 70% gebruikt is voor het trainen van een algoritme. Hiermee is een redelijke detectie van uien (60% van uien wordt gedetecteerd, en 73% van de uien-detecties zijn daadwerkelijk uien) en aardappelen (77% van aardappelen wordt gedetecteerd, en 87% van de aardappel-detecties zijn daadwerkelijk aardappelplanten). Het lijkt erop dat het verzamelen, annoteren en toevoegen van nieuwe uien-data (met aardappelopslag zichtbaar) de aardappel- en uien-detectie nog sterk kan verbeteren. Het toevoegen van data uit de bietendataset lijkt niet tot verbetering, dit heeft voornamelijk zin als er weinig uien-data beschikbaar is.

Het gebruikte algoritme (YOLOv5) is een bounding box-detector. Deze architectuur staat te boek als een snel, en licht (rekenkracht) algoritme. Ook is een voordeel dat de annotaties relatief snel te maken zijn, en dus relatief goedkoop. Als alternatief zijn er instance segmentation algoritmes die in plaats van rechthoeken om een object op pixelniveau de grenzen van een object aangeven. Deze netwerken behalen hogere prestaties, maar wel ten koste van de snelheid. Ook zijn deze annotaties vele malen tijdrovender om te maken, en daarmee duurder.

Het doel van doorontwikkeling spuittechniek was om preciezer te kunnen spuiten en te voorkomen dat druppels op het bietenblad terecht komen. Uit de resultaten van de simulatie met het optimalisatiescript kwam naar voren dat het optimaliseren van bounding boxen en daarmee aansturing van juiste doppen meer effect heeft dan het verkleinen van de dopafstand. Het lijkt erop dat de gekozen dopafstand van 10cm op het huidige prototype een prima maat is. Er zou ook een afstand van 12.5cm gekozen kunnen worden, omdat deze maat praktischer past bij rijafstanden in bieten, aardappelen, etc, waardoor de spotsprayer mogelijk breder inzetbaar is.

De simulatie met optimalisatiescript geeft goed inzicht in het effect van dopafstand en het gebruik van het optimalisatiescript op het raken van gedetecteerde bieten en aardappelen. In de berekening is niet de prestatie van het detectiealgoritme meegenomen. Ook houdt de simulatie geen rekening met de hoogte van de dop boven een gewas. Bij een grotere dopafstand zal de spuitboom waarschijnlijk hoger hangen ten opzichte van het gewas met grotere kans op drift van druppels. In praktijk kan de boom hoger hangen, waardoor spuitkegels elkaar overlappen. De kans dat daardoor bieten geraakt worden, wordt daarmee groter.

Om drift van druppels te verminderen is gekeken naar toevoegmiddelen en druk. Hieruit kwam naar voren dat toevoegen van 0.06% Dropkeeper aan een mix van water en 1% glyfosaat leidt tot een spuitkegel van 7.2 cm bij 0.8 bar. Dit is aanzienlijk smaller dan 11.1 cm bij 0% toevoeging van Dropkeeper en 1.5 bar druk. In 2019 was de pomp op het prototype ingesteld op 2-3 bar druk. Het verlagen van de druk en toevoegen van Dropkeeper heeft dus zeker nut om spuitkegel te versmallen en daarmee de kans op drift te verkleinen. Aandachtspunt bij gebruik van hogere concentraties dan de aanbevolen 0.06% DropKeeper is de kans op plakkerig residu in leidingen en of tanks. Extra naspoelen met water is dan nodig.

6 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van dit project is om een proof of concept en prototype werktuig te ontwikkelen voor herkenning van aardappelopslag en plant specifieke bestrijding hiervan. In twee jaar tijd kunnen we het volgende concluderen:

1. Het detectiealgoritme voor aardappelopslag in bieten werkt goed als het op vergelijkbare data getest wordt. De ervaringen over de laatste 2 jaar hebben wel geleerd dat er veel waarde gehecht moet worden aan een breed opgebouwde dataset. Het blijft daarom van belang om alert te blijven bij mogelijk gewijzigde veldomstandigheden.
2. Het detectiealgoritme voor aardappelopslag in uien werkt redelijk. Meer data kan de detectie verbeteren, ook hiervoor is een diverse dataset gewenst.
3. Het optimalisatiealgoritme werkt goed en geeft een sterke reductie in het aandeel geraakte bieten. Het optimaliseren van bounding boxen heeft een groter effect op het voorkomen van bieten die geraakt worden dan het verkleinen van de dopafstand.
4. Bij het ontwikkelen van de spuittechniek is gekozen voor het optimaliseren van de bestaande spuittechnieken (doppen, toevoegingen, druk). Dit is een bruikbare oplossing. Het alternatief (T&H doppen) is daarom niet nader onderzocht.

Deze conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen voor het verbeteren van de toepassing:

Detectiealgoritme:

- Breid de dataset voor uien uit om de detectie te verbeteren.

Software:

- Professionaliseer het optimalisatiescript en implementeer het. Uit de tests blijkt dat het aandeel geraakte bieten hiermee drastisch verminderd kan worden.
- Ontwikkel een functie om objecten te classificeren op basis van meerdere detecties van hetzelfde object.
- Verbeter de spuitcontroller om overweg te kunnen met meer commando's in korte tijd.
- Schrijf een functie die automatisch de translatie van afbeeldingen naar real world vehicle of coördinatenstelsel corrigeert voor de ingestelde hoogte van de camera's t.o.v. de planten. De locatie en timing van spuiten wordt hiermee nauwkeuriger.

Praktisch:

- Bij het gebruik van glyfosaat helpt de toevoeging van Dropkeeper om het spuitbeeld te versmallen en daarmee de kans op drift te verkleinen. Aanbevolen is een concentratie van max 0.06% Dropkeeper.

Ownership:

- De IP van de geannoteerde data en het getrainde algoritme ligt bij WUR. Deze kan overgedragen worden aan een fabrikant, desgewenst in licentie. Maak hierover afspraken met betrokken partijen.

Literatuur

- Newberry, George. (2007). Suppression of volunteer potatoes with maleic hydrazide applications. *American Journal of Potato Research*. 84. 253-258. 10.1007/BF02986275.
- Redmon, Joseph & Divvala, Santosh & Girshick, Ross & Farhadi, Ali. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. 779-788. 10.1109/CVPR.2016.91.
<https://arxiv.org/pdf/1506.02640.pdf>
- van Beers, T. G. (2011). Beheersing van aardappelmoehheid in de akkerbouw. Den Haag: aaltjesactieplan. <https://edepot.wur.nl/168366>

Bijlage 1 Meetverslag

Meetverslag "sputbeeld doppen Agrotop voor AgroIntelli spuit."

Door Ard Nieuwenhuizen, Thierry Stokkermans, Ben Verwijs, 2020-05-18

1 Proefplan spuitbeeld doppen AgroIntelli spuit:

De onderzoeksvraag is: wat is het spuitbeeld van Agrotop Spotfan 40-03 spuitdoppen voor gebruik van plantspecifieke bestrijding van aardappelopslag bij verlaagde spuitdruk en eventuele toevoegmiddelen die spuitdrijf verminderen en effectiviteit verhogen?

Te meten is het spuitbeeld van de spuitdop **A** Water en **B** Water met DropKeeper lage concentratie 0.06% **C** Water met DropKeeper hoge concentratie 2% bij de volgende drukken:

Druk **1**: 1.5 bar

Druk **2**: 1.0 bar

Druk **3**: 0.8 bar

De doppen 25 cm uit elkaar, en individueel spuitbeeld bepalen van 1 dop.

Doppen zitten 10 cm boven de grond, spuitbeeld op 10 cm hoogte van toediening bepalen.

2 Resultaat output:

- Foto's van het spuitbeeld, dus van de dop met de nevel zodat er inzicht is hoe de dop spuit.
- Spuitbeeld kwantitatief gemaakt met getallen
- Wat is de afgifte in Liter/Minuut van de doppen bij deze drie drukken? Agrotop SpotFan 40-03

3 Samengevat de resultaten in tabelvorm:

	Spuitdruk (bar)								
	0.8			1.0			1.5		
	0.0	0.06	1.0	0.0	0.06	1.0	0.0	0.06	1.0
Concentratie DropKeeper (%)									
Afgifte per dop (l/min)	0.80	0.73	0.76	0.89	0.83	0.82	1.07	1.02	-
Gemiddelde afgifte op spuitbord voor 9 doppen (ml/min)	217.4	251.1	261.8	235.0	258.5	255.6	239.8	277.9	-
stdev	170.8	228.4	176.0	163.3	202.4	168.9	176.3	178.0	-
%VC	78.6	90.9	67.2	69.5	78.3	66.2	73.5	64.1	-
N (aantal buizen waarin vloeistof opgevangen)	33	26	26	34	29	29	40	33	-

4 Resultaten beschrijving:

Voorafgaand aan het spuiten voor het uitvoeren van de verdelingsmetingen zijn de leidingen doorgespoten. Net voor het doen van de meting moeten de doppen spuiten om de 'stroom' water op het spuitbord op gang te brengen. Direct na de meting is het spuiten stop gezet. De tank kan niet volledig leeg gespoten worden omdat dan het verwarmingselement en de pomp droog komen te staan. De restvloeistof hiervoor is ca 25 liter. Voor het hebben van de restvloeistof en het uitvoeren van de 3 herhalingen bij 1 druk is ca 150 liter vloeistof nodig.

Voor de 0.06% is 90 gram DropKeeper gebruikt. Voor de 2% zou voor 150 liter 3 kg DropKeeper nodig zijn. Dat was niet beschikbaar. Om 1 herhaling uit te voeren is, inclusief restvloeistof, 70-75 liter nodig.

Met de resterende 710 gram DropKeeper kon geen 2% maar wel een 1% oplossing gemaakt worden. De keuze om met een 1% oplossing te spuiten i.p.v. een 2% oplossing is een goede geweest. Zonder getalsmatig iets gezien te hebben leek bij deze concentratie de viscositeit van de vloeistof af te nemen, de vloeistof werd aanzienlijk dikker. Leidingen dreigden bij stilstand van de vloeistof, zoals tijdens het meten van de breedteverdeling, verstopt te raken. Hierdoor is bij het uitvoeren van de 1%

oplossing bij 1,5 bar spuitdruk de waarneming komen te vervallen. Onbekendheid met het toevoegmiddel DropKeeper heeft hier een grote rol gespeeld. Het schoonmaken van de gebruikte materialen vroeg extra aandacht. Aandachtspunt bij gebruik van hogere concentraties dan de aanbevolen 0.06% DropKeeper is de kans op plakkerig residu in leidingen en of tanks. Extra naspoelen met water is dan nodig.

Verwerking van de meetgegevens tot de tabel:

- Voor het maken van de juiste berekeningen zijn eventuele waarden die niet mee doen met de spuitcurve verwijderd. Indien in 1 herhaling een waarde was vermeld die onderdeel is van de spuitcurve, dan is bij elke herhaling de betreffende waarde meegerekend.
- Gemiddelde afgifte op spuitbord voor 9 doppen (ml/min): dit is het gemiddelde over alle buizen van het spuitbord waarin een waarde is gemeten. Dit is dus niet de gemiddelde afgifte per dop.

5 Samengevat:

Het verlagen van de druk van 1.5 naar 1.0 naar 0.8 bar levert op:

Bij Water:

Een afgifte die omlaag gaat van 1.07 naar 0.89 naar 0.8 l/min

Een spuitbeeld dat smaller wordt van 40 naar 34 naar 33 buisjes van 2.5 cm breed

Dat is smaller van 11.1 naar 9.4 naar 9.2 cm breed gemiddeld

Bij DropKeeper 0.06%:

Een afgifte die omlaag gaat van 1.02 naar 0.83 naar 0.73 l/min

Een spuitbeeld dat smaller wordt van 33 naar 29 naar 26 buisjes van 2.5 cm breed

Dat is smaller van 9.2 naar 8.1 naar 7.2 cm breed gemiddeld

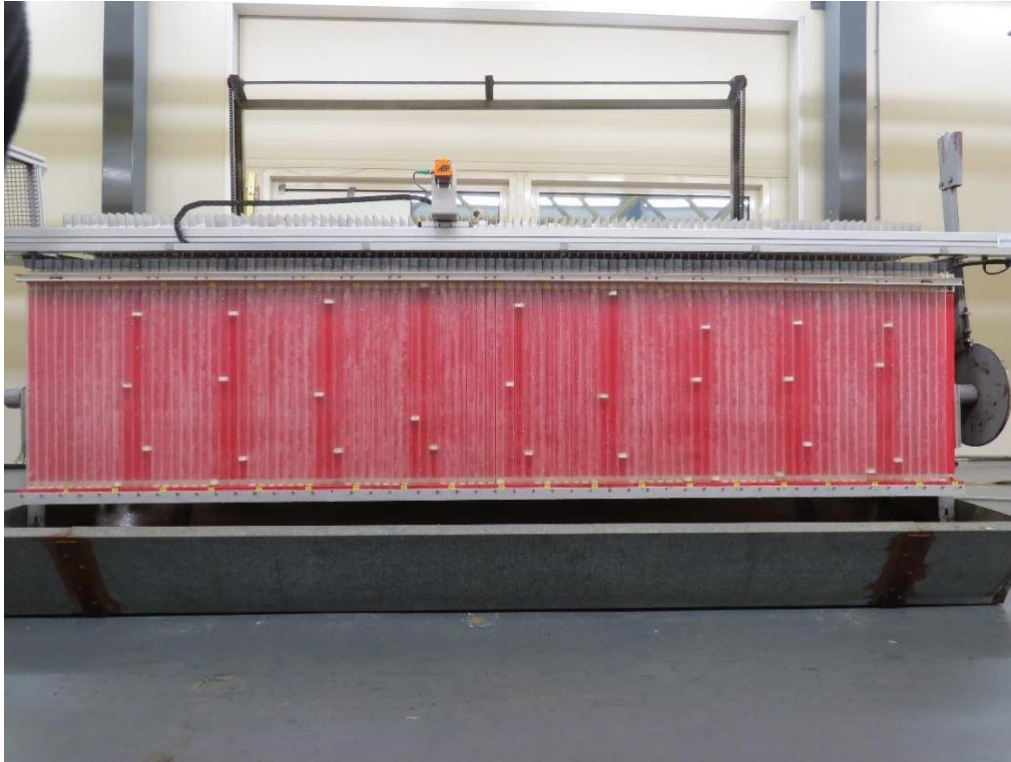
Verlaging van druk naar 0.8 bar en toevoeging van Dropkeeper 0.06% levert een spuitbeeld op van 0.73 liter per minuut per dop bij gemiddeld 7.2 cm brede bedekking.

Bij water is dit bij 0.8 bar 0.8 liter per minuut en 9.2 cm breed.

6 Resultaten in foto's van het spuitbeeld weergegeven:

Zie op de volgende pagina's het resultaat van de bespuitingen met de verschillende instellingen zoals uitgevoerd boven het spuitbord.

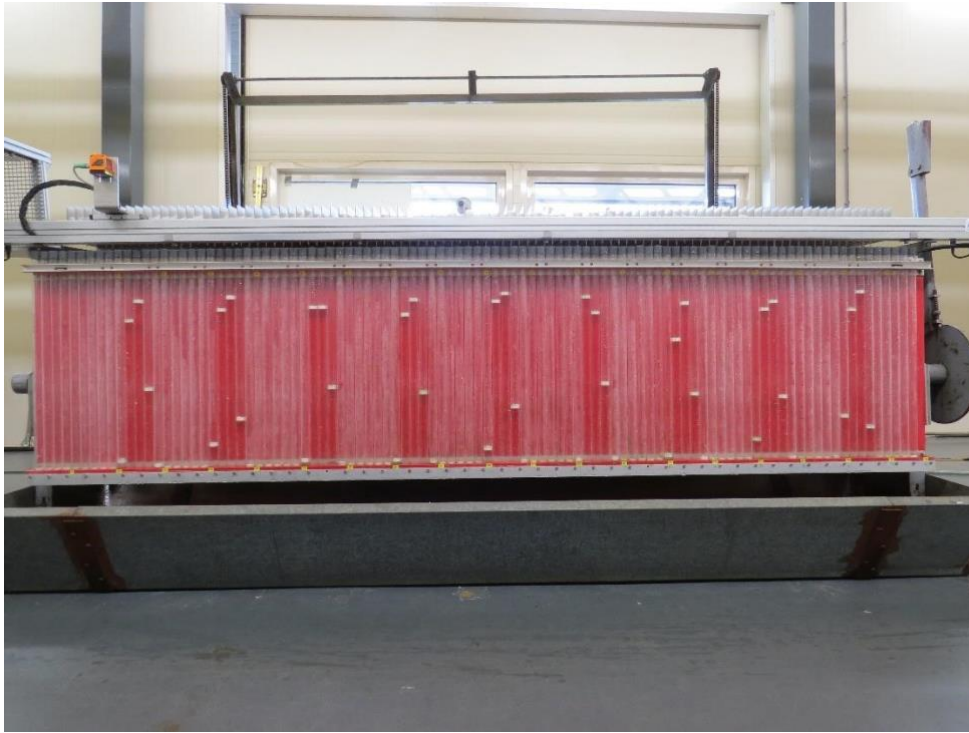
Water 0.8 bar



Water 1.0 bar



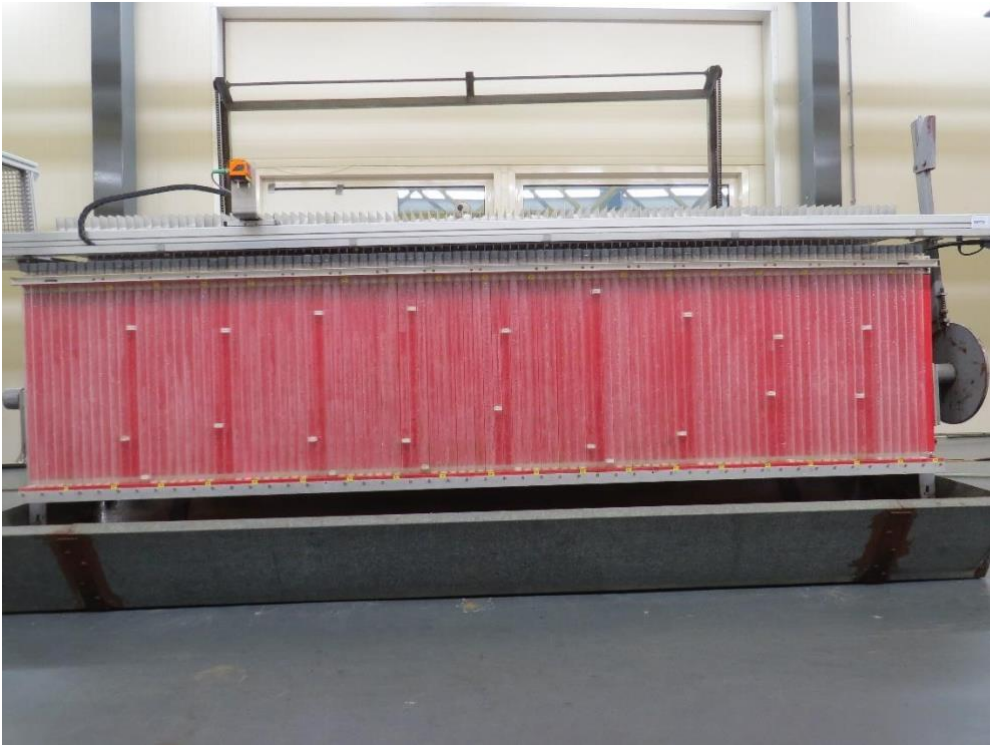
Water 1.5 bar



Water + DropKeeper 0.06 % 0.8 bar



Water + DropKeeper 0.06 % 1.0 bar



Water + DropKeeper 0.06 % 1.5 bar



Water + DropKeeper 1.0 % 0.8 bar



Water + DropKeeper 1.0 % 1.0 bar



Water + DropKeeper 1.0 % 1.5 bar



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



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

Rapport WPR-878

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 12.500 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.
