



## 5G Fieldlab Rural Drenthe

Duurzame en autonome onkruidbestrijding

Johan Booij, Ard Nieuwenhuizen, Koen van Boheemen

Rapport WPR



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---

---

# 5G Fieldlab Rural Drenthe

Duurzame en autonome onkruidbestrijding

Johan Booij, Ard Nieuwenhuizen, Koen van Boheemen

WUR Projectteam: Johan Booij, Ard Nieuwenhuizen, Chris de Visser, Bram Veldhuisen, Arjan Vroegop, Thierry Stokkermans, Thijs Ruigrok, Koen van Boheemen

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

Wageningen, maart 2020

---

Rapport WPR

---

Booij, Johan; Ard Nieuwenhuizen, Ard & Koen van Boheemen, 2020. *5G Fieldlab Rural Drenthe; Duurzame en autonome onkruidbestrijding*. Wageningen Research, Rapport WPR, 18 blz.; 3 fig.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/517141>

Trefwoorden: aardappelopslag, duurzaam, autonoom, deep learning, robot

© 2020 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; [www.wur.nl/plant-research](http://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

Foto's omslag: Koen van Boheemen

---

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding en doelstelling</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Projectuitvoer</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>9</b>
	3.1 Connectiviteit	9
	3.2 Interpretatie	9
	3.3 Toepassing	10
<b>4</b>	<b>Communicatie</b>	<b>12</b>
	4.1 Innovatiedag "Dág, onkruid!"	12
	4.2 Demodag 5G: "Autonome en duurzame onkruidbestrijding"	12
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Toekomstperspectief</b>	<b>15</b>
	6.1 Praktijktoepassing huidige systeem	15
	6.2 Uitbreiding functionaliteit	15
	6.3 Gewasbeschermingsmiddel	16
<b>7</b>	<b>Dankwoord</b>	<b>17</b>
	7.1 Provincie Drenthe	17
	7.2 KPN	17
	7.3 Proefbedrijf 't Kompas Valthermond	17
	7.4 Vakgroep Farm Technology – WUR	17
	7.5 Stuurgroep Aanpak Aardappelmoetheid	18
	7.6 Others	18

---

---

# Samenvatting

Boeren kijken al een aantal jaren met een schuin oog naar robots om de saaie, herhaaldelijke en soms zware taken van hen over te nemen. Aardappelopslagbestrijding, een relatief simpele maar saaie taak, is één van de taken die boeren graag aan een autonome robot zouden overdragen. Robots om deze taak uit te voeren moesten telkens opgeven omdat het detecteren van aardappelopslagplanten in een suikerbietengewas voor de computer erg lastig bleek. Door state-of-the-art deep learning technologieën toe te passen is WUR er nu wel in geslaagd een robuust detectiealgoritme te bouwen. Vanuit een demo op de kleine Husky robot is gewerkt naar een 3 meter brede, autonome toepassing op de Robotti robot. De rekenintensieve operatie van het herkennen van aardappelopslag- en suikerbietenplanten werd hierbij in de cloud uitgevoerd, waarbij state-of-art 5G verbindingstechnieken gebruikt werden om de te analyseren data snel genoeg in de cloud en terug te kunnen krijgen om tijdig een actuatie te kunnen uitvoeren op de robot. Door nauwe samenwerking tussen KPN en WUR is een herkenningsalgoritme voor aardappel- en suikerbietenplanten ontwikkeld dat in een KPN-cloud omgeving kan draaien. Terwijl de robot met 4km/u over het veld reed werden de foto's via 5G naar deze cloud gestuurd en werden de analyse-resultaten teruggestuurd naar de robot binnen 0.25 seconde. De spuit-unit met spuitdoppen om de 0.1 m werd daarop door de computer geïnstrueerd welke spuitdop wanneer geactiveerd moest worden om de gedetecteerde aardappelopslagplant te bespuiten. Tijdens toepassing van het algoritme in augustus werden 96% van de aardappelopslagplanten en 3% van de suikerbietenplanten geraakt. Hoewel deze getallen het systeem al zeer dicht richting praktijkintroduktie brengen zal het aantal geraakte suikerbieten nog om laag moeten om boeren massaal te overtuigen van de toepasbaarheid van het systeem. Daar waar 5G genoemd wordt in dit verslag betekent dit het gebruik van pré 5G technologie met 5G capaciteit en performance.





---

# 1 Inleiding en doelstelling

Aardappelopslag groeit uit de overgebleven knollen van het vorige seizoen, nadat er een teelt aardappelen heeft plaatsgevonden. Tijdens de zachte winters gaan deze aardappelknollen niet dood, maar groeien ze uit tot een ongewenst onkruid in het volgende groeiseizoen. In het nieuwe gewas, vaak suikerbieten, concurreren deze aardappelplanten niet alleen met de bietenplanten, maar zijn ze daarnaast waardplanten voor Phytophthora en aaltjes. Hierdoor wordt het idee van een gewasrotatie, waarmee onder andere grondgebonden ziektes en plagen bestreden wordt, ongedaan gemaakt en volledige verwijdering van de aardappelopslag is dan ook de enige oplossing. Hoewel het mogelijk is mechanisch het bovengrondse deel van de aardappelopslag te verwijderen is het mechanisch verwijderen van de knol, die zich onder de grond bevindt, zeer lastig. Bij het weghalen van het bovengrondse deel zal de knol simpelweg nieuwe stengels gaan produceren, iets wat zich tot 10 keer kan herhalen. Gewasbeschermingsmiddelen die zowel het bovengrondse deel als de knol bestrijden zijn beschikbaar, maar deze middelen moeten met de hand aangebracht worden om schade aan de suikerbieten te voorkomen. Dit kan tot 60 uur per hectare kosten, waardoor het een flinke kostenpost oplevert. Het vinden van arbeid voor deze repetitieve werkzaamheden wordt daarnaast steeds lastiger. Alternatieven zijn het gebruik van een onkruidrol, waarbij de aardappelplant hoger moet staan dan de bietenplant, of een kappenspuit. Ook hier zijn flinke loonwerkkosten aan verbonden. Daarnaast is tijdigheid het probleem, omdat er wekelijks nieuwe aardappelplanten opkomen en alle aardappelplanten (incl. knollen) dood moeten zijn om vermeerdering van bijv. aaltjes te voorkomen. De kosten worden ingeschat op ca €300-€450 per hectare voor het (handmatig) aanpakken van aardappelopslag.

Binnen Wageningen UR is daarom een systeem ontwikkeld om autonoom aardappelopslag te bestrijden. De herkenning van de planten gebeurt met behulp van camera's en deep learning analyse software. Het toepassen van deze deep learning software is zeer rekenintensief en vereist daarom dure computer hardware met een hoge energieconsumptie. Robots in de markt bieden deze hardware vaak niet en bijplaatsen van deze hardware is vaak niet zomaar mogelijk. Er moet een plek gecreëerd worden waar de kwetsbare hardware kan staan zodat deze efficiënt gekoeld kan worden, maar zonder directe blootstelling aan de elementen. Daarnaast is stroomvoorziening vaak een probleem. Bijplaatsen van deze hardware heeft dus een grote negatieve invloed op de kostprijs en gebruikskosten van een robot voor het autonoom verwijderen van aardappelopslag. Door het gebruik van communicatietechnologie en servers in de cloud voor het toepassen van de deep learning, kunnen die aspecten opgelost worden en hoeven de rekenintensieve processen niet langer op de robot te gebeuren.

De uitdaging hierbij is dat de robot met één bewerking het perceel scant, interpreteert waar de ongewenste aardappelplanten staan en elke aardappelplant specifiek bestrijdt met gewasbeschermingsmiddel. De robot rijdt met 4 km/h (praktijksnelheid). Dit betekent dat de stappen van data verzamelen, interpretatie van de data in de cloud en toepassen van het gewasbeschermingsmiddel gezamenlijk binnen één seconde moeten plaatsvinden.

Doelstelling van dit project is om een succesvolle demonstratie en proof of concept te geven waarbij de camerabeelden vanaf de robot via een 5G-verbinding naar een server in Den Haag gestuurd worden, daar de interpretatie met gewasherkenning met behulp van deep learning gedaan wordt, de locatiegegevens van de aardappelplanten weer met 5G teruggestuurd worden naar de robot en vervolgens de aardappelplanten plant specifiek bespoten worden met gewasbeschermingsmiddel terwijl de robot met een praktijksnelheid van 4 km/u rijdt. Daar waar 5G genoemd wordt in dit verslag betekent dit het gebruik van pré 5G technologie met 5G capaciteit en performance.

## 2 Projectuitvoer

Het project is opgedeeld in 2 fasen met aan het eind van elke fase een demonstratie voor de sector. Fase 1 liep van april tot mei 2019 en had als doel de data van één camera, gemonteerd op de kleine Husky-robot (Figuur 1), via de 5G verbinding naar de analyse-server in het KPN-datacentrum in Den Haag te sturen. De activiteiten richtten zich voornamelijk op het opzetten van het 5G modem op de robot, het tot stand brengen van een stabiele verbinding en het efficiënt oversturen van de camerabeelden. Zo kon in kaart gebracht worden hoeveel tijd er nodig was om één camerabeeld naar de analyse-server te sturen. Op 28 mei is er een demonstratie van dit systeem gegeven op de Innovatiedag "Dàg, Onkruid!" te Valthermond.

Fase 2 liep van juni tot september 2019 en had als doel om een werkend autonoom systeem om aardappelopslag te bestrijden met behulp van 5G en analyse in de cloud te demonstreren. Hiertoe moest de data van 4 camera's op de grotere Robotti robot (Figuur 1) simultaan via de 5G verbinding naar de analyse-server in het KPN-datacentrum in Den Haag gestuurd worden. Op de server werd het herkenningsalgoritme geïnstalleerd en zo ingericht dat beelden van elke camera op tijd geanalyseerd werden. Na analyse werden de locaties van herkende aardappelplanten via de 5G verbinding naar een 2,80m brede spuit-unit gestuurd, welke de aardappelplanten bespoot met het gewasbeschermingsmiddel. Daarnaast is een dashboard gebouwd dat de status, positie, bewerkingsgegevens en andere relevante informatie over de robot en de toepassing op een overzichtelijke manier presenteerde aan de gebruiker van de robot. Op 27 augustus is een praktijkdemonstratie gegeven tijdens de demodag "5G Autonome en Duurzame Onkruidbestrijding" te Valthermond.



*Figuur 1. De kleine Husky robot met één camera (voorgond) en de grotere Robotti robot met 4 camera's en precisiespuit-apparaat.*

---

## 3 Resultaten

### 3.1 Connectiviteit

Net als in 2018 is er gebruik gemaakt van 'Uplink Carrier Aggregation', waarbij de frequentiebanden op 1800 en 2100 MHz zijn gecombineerd tot één verbinding om hogere uplink en downlinksnelheden mogelijk te maken. De maximale uplinksnelheid met deze technologie en de hardware gebruikt in 2019 is 120Mbps. In 2018 is gebruik gemaakt van hardware van ZTE. Deze is in 2019 vervangen door hardware van Huawei. Een smartphone met 5G connectiviteit is gebruikt als modem. De interne chip in de smartphone voor de 5G connectie maakt gebruik van een zogeheten multichannel verbinding. De verbinding kwam tot stand via 12 kanalen (channels) van elk max 10 Mbps. Dit heeft als voordeel dat de connectie betrouwbaarder is (want als de connectie in 1 channel hapert, zijn er nog 11 over) en de connectiviteit minder energie kost (limiet van 10Mbps). Zeker dit laatste is bij smartphones en bij toepassingen op autonome robots interessant. Voor de toepassing op de grote Robotti robot met 4 camera's was dit echter een uitdaging, want om de volle bandbreedte van 120Mbps te kunnen gebruiken moesten we de data van de 4 camera's opsplitsen in 12 delen, simultaan versturen naar de server over de 12 beschikbare kanalen en op de server weer samenvoegen. Hiertoe werd elke foto in de 3 RGB-basiskleuren (Rood, Groen, Blauw) gesplitst, wat resulteerde in  $4 \times 3 = 12$  monochroom (zwart-wit) foto's die klein genoeg waren om elk via één kanaal snel verstuurd te kunnen worden. Tijdens de toepassing van het autonome systeem om aardappelopslag te bestrijden op de Robotti robot betekende dit dat het voorbereiden en simultaan versturen van 4 foto's 100 ms in beslag nam. Na interpretatie van de beelden werden de coördinaten van de gedetecteerde aardappelopslag-planten via één kanaal van de 5G verbinding teruggestuurd. Doordat dit slechts een kleine hoeveelheid data betrof was de benodigde tijd hiervoor ongeveer 10 ms.

### 3.2 Interpretatie

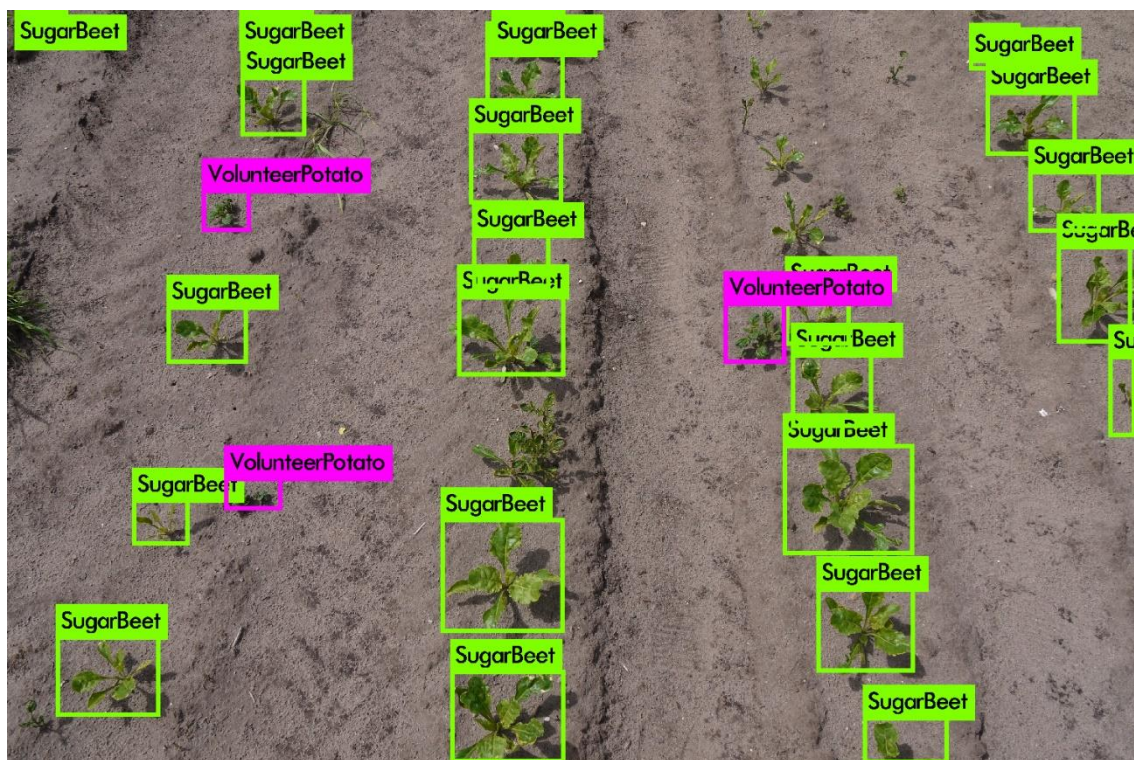
Om het mogelijk te maken de computer het verschil tussen suikerbieten en aardappelplanten te laten herkennen onder de wisselende omstandigheden en in verschillende groeistadia, kenmerkend voor de landbouw, is een trainingsdataset met daarin foto's van suikerbieten en aardappelopslagplanten nodig. In het verleden zijn in diverse projecten van de WUR foto's genomen en iedere foto daarna handmatig geannoteerd, wat inhoudt dat om elke plant op de foto een vierkant getrokken wordt en aangegeven wordt of het een suikerbiet of aardappelplant betreft. Door foto's te annoteren die genomen waren onder verschillende omstandigheden, in verschillende groeistadia en door verschillende camera's is de toepasbaarheid van het herkenningsalgoritme zo breed mogelijk gemaakt. In totaal zijn er +- 5500 geannoteerde foto's gebruikt om het algoritme te trainen, genomen met verschillende camera-systemen op verschillende momenten verspreid over meerdere jaren.

Nadat de foto's ontvangen waren op de server werden de foto's eerst weer in hun volle kleurstellingen hersteld door telkens 3 zwart-wit foto's samen te voegen. Daarna werden de kleurenfoto's één voor één geanalyseerd door het herkenningsalgoritme. Om elke herkende suikerbietenplant en aardappelopslag-plant werd een vierkant getrokken, waardoor de positie van de plant in de foto aangegeven werd. Hierna werd gefilterd op vierkanten waarin een aardappelplant stond, waarna de coördinaten van alleen deze vierkanten behouden bleven. Deze coördinaten werden nadat de 4 foto's geanalyseerd waren samengevoegd en teruggestuurd naar de robot. Voor het analyseren van 4 foto's was opnieuw 100 ms nodig, wat neerkomt op 25 ms per foto.

Gebruik maken van een cloud-oplossing voor deze toepassing heeft meerdere voordelen. Als eerste betekent het dat de ontwikkelaar van het algoritme heel makkelijk het algoritme kan onderhouden en/of verbeteren. In plaats van na een software-update langs iedere robot te gaan om de software op de computer aan boord van de robot te updaten hoeft nu alleen de software in de cloud geupdate te worden. Zolang de robot de foto's op dezelfde manier blijft aanleveren naar de cloud en de software in de cloud de locaties van de aardappelopslagplanten op de zelfde manier blijft teruggesturen naar de



robot hoeft de gebruiker van de robot hier niets van te merken. Het enige verschil zal zijn dat de detectie nog nauwkeuriger wordt. Mocht de nieuwe versie van de software meer rekenkracht nodig hebben dan de vorige versie, dan kan in de cloud automatisch meer reken capaciteit beschikbaar gesteld worden. Als gebruik wordt gemaakt van een vaste computer op de robot dan kan het zijn dat deze computer te langzaam is om de nieuwe versie van de software goed te kunnen toepassen. Daarnaast is het voor de ontwikkelaar van het algoritme makkelijker om het intellectueel eigendom van het herkenningsalgoritme te beschermen. Hoewel de resultaten van de analyse van elke naar de gebruiker gestuurd wordt heeft de gebruiker nooit de daadwerkelijke intelligentie, waar veel ontwikkeltijd en dus geld in gaat zitten, op zijn computer staan. Mocht het gewenst zijn om alle of een deel van de foto's die door de camera's genomen worden op te slaan, zij het onbewerkt of na analyse, zoals weergegeven in figuur 2, dan kan gebruik gemaakt worden van de opslagruimte die in de cloud beschikbaar is. Hierdoor loopt de schijf van de computer op de robot niet vol en is de data meteen veilig opgeslagen. Mocht de computer op de robot crashen of beschadigd raken dan staat de data alsnog veilig opgeslagen in de cloud. Afhankelijk van de overeenkomst tussen de gebruiker en de ontwikkelaar van het algoritme kunnen de foto's die door de robot in het werk verzameld worden ook weer gebruikt worden om het algoritme te trainen en het daarmee nog robuuster en nauwkeuriger te maken.



Figuur 2. Analyseresultaat met eerdere versie van analysesoftware.

### 3.3 Toepassing

De effectiviteit van de onkruidbestrijding werd afgeleid uit het tellen van het aantal gespoten bieten en aardappelen in het veld t.o.v. het totaal aantal bieten en aardappelen in het veld. Hiertoe werden 8 plots in het veld uitgezet van 2x12,5m en werden tellingen uitgevoerd. Figuur 3A geeft aan hoe het experiment in de praktijk liep en dat door kleurverschillen op de grond duidelijk bepaald kon worden of een plant wel of niet geraakt was tijdens het spuiten.

Figuur 3B geeft de ontwikkeling van het herkenningsalgoritme en de nauwkeurigheid hiervan van eind mei tot eind augustus. Tijdens de demonstratie eind mei werden 41% van de bieten gespoten, waarvan 7% doordat de bietenplant te dichtbij de ongewenste aardappelplant stond. Daarnaast werd

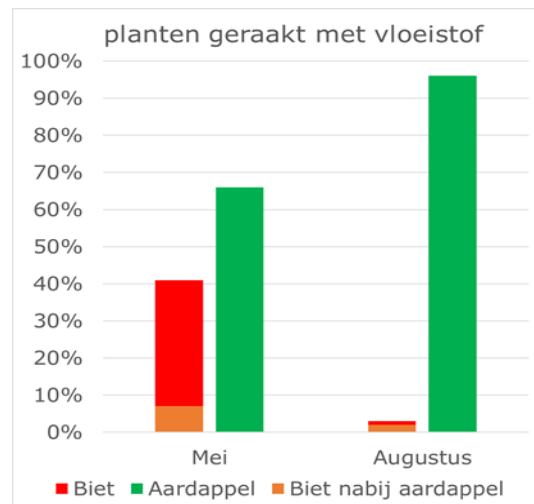
maar 66% van de ongewenste aardappelen geraakt. Dit resultaat was zeker niet voldoende en vroeg om een verbeterslag.

Tussen eind mei en begin augustus zijn er nieuwe demovelden aangelegd. Vanuit het project 'Autonome Aanpak Aardappelopslag' (AAA), gefinancierd vanuit LTO Nederland met de commissie Stuurgroep Aanpak AM, zijn er nieuwe datasets vergaard. Deze datasets werden geannoteerd (op elke afbeelding selecteren van de bieten en aardappelplant en labelen wat het is) en het herkenningsalgoritme werd getraind met deze data. Dit resulteerde in een sterke verbetering van het systeem.

Binnen het 5G Rural Fieldlab Drenthe is vervolgens gewerkt aan de communicatietechnologie en een cloud-oplossing, waarbij het hertrainde algoritme op een server in Den Haag draaide. Tijdens de experimenten in voorbereiding van de demonstratie eind augustus werden maar 3% van de bieten geraakt en 96% van de aardappelen. Tijdens de demonstratie zelf (4 dagen na de experimenten en tellingen) was de prestatie iets minder met 10% bieten geraakt en 96% van de aardappelplanten. Dit laat zien dat door veel data te verzamelen en het herkenningsalgoritme te hertrainen een enorme vooruitgang geboekt kan worden. Er zijn op ca 7 momenten in het seizoen data verzameld. Per keer rijden over de demovelden (1/4 ha) is er ca 35GB aan data verzameld. In totaal is dat dus ca 250GB aan data verzameld, waarvan er uiteindelijk ca 12 GB gebruikt is voor het verbeteren van het algoritme. Wil men het systeem op grote schaal inzetten, op grote schaal data verzamelen voor het verbeteren van het herkenningsalgoritme en het herkenningsalgoritme geschikt maken voor meerdere gewassen, dan betekent dit dat data-opslag op de robot niet meer te realiseren is. Cloud-oplossingen (en 5G) zijn dan een welkome oplossing om dit soort systemen robuuster te maken.



Figuur 1A. Autonoom systeem in actie op de Robotti robot tijdens de uitvoering van het experiment.



Figuur 1B. Prestatie van het autonome systeem in mei en na hertraining van het herkenningsalgoritme in augustus.

---

## 4 Communicatie

Over het project is meerdere malen gecommuniceerd om zo de aansluiting met de sector en de achterban van betrokken partijen te behouden. De communicatiemomenten zullen in dit hoofdstuk benoemd worden.

### 4.1 Innovatiedag “Dág, onkruid!”

Het eerste grote communicatiemoment van het project was de Innovatiedag “Dág, onkruid!” op 28 mei 2019 in Valthermond. In de uitnodiging (link 1) van de Innovatiedag “Dág, onkruid!” is de demonstratie aangekondigd. Op de dag zelf is dit project uitgelicht als één van de demonstraties die gedurende de dag gepresenteerd werd en zijn er constant groepen mensen voorgelicht over de toepassing, het doel ervan en de voortgang. Daarna werd tijdens de live-demonstratie aangegeven wat het systeem deed en werd aan de bezoekers om hun mening gevraagd over de toepassing. Met ongeveer 400 bezoekers was de zaal tijdens de presentaties goed gevuld en kijken wij terug op een geslaagde dag. Verschillende media hebben na bezoek van deze dag een nieuwsartikel aan de dag of aan dit onderwerp gewijd. Dit zijn media met een grote achterban in de agrarische sector zoals Trekkerweb (link 2), Akkerwijzer (link 3), Cosun (link 4), Boerderij (link 5), de Loonwerker (link 6) en Nieuwe Oogst (link 7). Ook hebben verschillende media een video-impressie geplaatst, zoals bijvoorbeeld het IRS (link 8) en Akkerwijzer (link 9). Partner KPN heeft daarnaast een blog met foto's en video's geplaatst (link 10).

### 4.2 Demodag 5G: “Autonome en duurzame onkruidbestrijding”

Het tweede grote communicatiemoment was tijdens de demodag 5G: “Autonome en duurzame onkruidbestrijding” op 27 augustus 2019 in Valthermond. Op deze dag draaide het om de verschillende toepassingen die 5G connectiviteit kan faciliteren op het boerenbedrijf. De toepassing van het verwijderen van aardappelopslag met behulp van een autonome robot stond hier centraal. Met ongeveer 40 bezoekers, bestaande uit landbouwadviseurs,-afnemers, telers, partners, pers en lokale politiek, kon de diepte in gegaan worden over de kansen en uitdagingen die 5G in de landbouw met zich mee brengt. In één sessie werd ingegaan op connectiviteit en welke landbouw-sensoren het beste door middel van welke connectiviteit ontsloten kunnen worden. De andere twee sessies hadden betrekking op de toepassing van het autonoom bestrijden van onkruid. De ene sessie bestond uit een praktijkdemo aardappelopslag bestrijden met de Robotti robot en 5G. De andere sessie bestond uit een uitleg van de technieken gebruikt in het systeem, verklaring van het verschil in prestaties tussen de demonstratie in mei en in augustus en de presentatie van het dashboard waarop de voortgang van de Robotti gemonitord kan worden. Opnieuw werd door verschillende media verslag gedaan van de dag, zoals BlikOpNieuws (link 11) en in de communicatie van partners Provincie Drenthe (link 12) en KPN (link 13A en 13B).

#### Links

- 1 <https://www.cichorei.nl/assets/files/Uitnodiging%2028%20mei%20-%20Innovatiedag%202019.pdf>
- 2 <http://www.trekkerweb.nl/artikel/2019/05/veel-belangstelling-voor-innovatiedag-2019-mechanische-onkruidbestrijding.html>
- 3 <https://www.akkerwijzer.nl/artikel/206635-fotos-onkruidbestrijding-2.0-goed-op-weg-maar-nog-niet-alles-is-rijp-voor-de-praktijk/>
- 4 <https://edepot.wur.nl/496914>

- 
- 5A <https://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Nieuws/2019/5/Middelenverschraling-vraagt-om-verschuiving-in-denken-432798E/>
  - 5B <https://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Achtergrond/2019/6/Zelflerende-spuit-is-niet-volledig-autodidactisch-435456E/>
  - 6 <https://www.deloonwerker.nl/nieuwsartikel/2019/aardappelopslag-in-bieten-blijkt-hardnekkig-probleem/b24g14c26o2129/>
  - 7 <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2019/06/08/innovatie-nodig-om-onkruid-dag-te-zeggen>
  - 8 [https://www.youtube.com/watch?v=aO8CyDYoH\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=aO8CyDYoH_0)
  - 9 <https://www.akkerwijzer.nl/artikel/206808-video-dag-onkruid-thema-van-onkruid-dag-in-valthermond/>
  - 10 <https://www.kpn.com/zakelijk/blog/zeg-dag-tegen-onkruid-met-de-5g-weedrobot.htm>
  - 11 <https://www.blikopnieuws.nl/nieuws/275818/weed-robot-via-5g-aan-het-werk-gezet-op-boerenerf-in-drenthe.html>
  - 12 <https://www.provincie.drenthe.nl/actueel/nieuwsberichten/@134229/onkruidrobot-5g/>
  - 13A [https://www.linkedin.com/posts/kpn\\_boeren-robots-5g-ugcPost-6577809789357703168-IQci/](https://www.linkedin.com/posts/kpn_boeren-robots-5g-ugcPost-6577809789357703168-IQci/)
  - 13B <https://www.kpn.com/zakelijk/blog/zeg-dag-tegen-onkruid-met-de-5g-weedrobot.htm>

---

## 5 Conclusie

Door nauwe samenwerking tussen KPN en WUR en diverse ketenpartners in parallelle projecten is een autonoom systeem om aardappelopslag te bestrijden in suikerbieten tot stand gekomen. Een herkenningsalgoritme ontwikkeld door WUR is aangepast zodat het rekenintensieve deel in de KPN-cloud plaats kon vinden waarbij de camerabeelden van de robot via de nieuwste 5G technieken naar deze cloud gestuurd werden. De autonome WUR Robotti robot is voorzien van een camera- en spuitunit en verbonden met het 5G netwerk van KPN. Tijdens veldtesten bleek dat 0,25 seconde nodig was om een foto te nemen, deze naar de cloud te sturen, de analyse te doen en de analyseresultaten terug te sturen naar de robot zodat precies op de juiste plek gespoten kon worden. In deze opstelling kon het systeem met 1 meter per seconde (3,6 km/u) door het veld rijden terwijl 96% van de aardappelopslagplanten gespoten werden. Ook werd 3% van de suikerbietenplanten geraakt. Met het demonstreren van dit systeem op de 5G Demodag in augustus is aan de sector getoond dat dit systeem bijna praktijkrijp is en de eerste robots dus binnen nu en 5 jaar hun intrede zullen gaan doen in de agrarische sector. 5G kan hierbij een belangrijke rol spelen, zoals aangetoond in dit project.



---

# 6 Toekomstperspectief

In dit project kijken we terug op twee geslaagde demonstraties. De vooruitgang in het project was duidelijk zichtbaar in de verbetering in nauwkeurigheid van de robot tussen de 1e en de 2e demonstratie. Maar natuurlijk blijven zowel de boeren als wij vooruit kijken. Tijdens de demodagen kregen we veel vragen van boeren, adviseurs en anderen uit de sector die duidelijk aangeven waar de wensen liggen. Dit hoofdstuk zal aan de hand van deze wensen de kansen en uitdagingen in de nabije toekomst schetsen.

## 6.1 Praktijktoepassing huidige systeem

Veruit de meeste vragen tijdens de demodagen hadden betrekking op de praktijkrijpheid van het gedemonstreerde systeem. Veel boeren merken dat het steeds lastiger is om mensen te vinden die door het veld willen lopen om handmatig de aardappelopslag te verwijderen. Omdat de Robotti tijdens de demonstratie in augustus autonoom kon rijden werd het concept van een volledig autonome oplossing voor het verwijderen van aardappelopslag ineens concreet voor velen. Zij vroegen zich dan ook meteen af of dit systeem ook op hun bedrijven zou werken en wanneer het systeem te koop en/of te huur zou zijn en tegen welke prijs. Echter zorgen een aantal punten ervoor dat het systeem nog niet zonder meer praktijkrijp is. Als eerste moet er nog tijd gestoken worden in het meer universeel toepasbaar maken van het herkenningsalgoritme. Zoals in het rapport beschreven is voor elke demo tijd gestoken in het her-traineren van het systeem met foto's gemaakt vlak voor de demo. Ook al was het aantal foto's telkens beperkt, dit betekent wel dat het systeem niet zomaar in een veld gezet kan worden en dan een nauwkeurigheid haalt vergelijkbaar met de demo in augustus. Onderzoek is nodig om te bepalen hoe we de detectiesystemen kunnen aanpassen zodat dit wel mogelijk wordt. Een tweede probleem is robuustheid en communicatie tussen de componenten. In de huidige opstelling wordt de Robotti gebruikt om autonoom te rijden, terwijl het camerasysteem en spuitsysteem samenwerken om de aardappelopslag te spuiten. Echter is er geen communicatie tussen de Robotti en de andere systemen, waardoor een fout in één van de systemen niet doorgegeven wordt aan de anderen. Mocht het gewasbeschermingsmiddel van de spuit op zijn, dan wordt er geen signaal naar de Robotti gestuurd om te stoppen. Hoewel dit een probleem lijkt dat simpel op te lossen is wordt het als een middelgrote uitdaging gezien om dingen die mis kunnen gaan te signaleren met behulp van sensoren en daarop een noodstop te activeren. Daarnaast ontbreekt in Nederland nog een belangrijke schakel voor dit proces, namelijk dekking van het 5G netwerk. Om dit soort systemen in de praktijk toe te kunnen passen is het belangrijk dat de uitrol van 5G zich niet alleen richt op de steden maar juist ook op de landelijke gebieden.

## 6.2 Uitbreiding functionaliteit

Naast vragen over de toepassing werd er ook veel in de breedte gedacht. Aardappelopslag is een probleem die zich niet alleen voordoet in de teelt van suikerbieten, maar ook in grote teelten zoals zaaiuien, winterpeen en witlof. Geconfronteerd met de relatief hoge investeringskosten die aan deze toepassing hangen is een systeem dat alleen in de suikerbieten werkt eigenlijk niet acceptabel. Dit betekent dat het systeem ook in te zetten zou moeten zijn in andere teelten. Hoewel hiervoor technisch gezien weinig tot geen aanpassingen aan het systeem nodig zijn zal er flink wat tijd geïnvesteerd moeten worden om het detectiesysteem zo te trainen dat aardappelopslag ook gedetecteerd kan worden in gewassen anders dan suikerbieten. En waar de vraag tot nu toe ging over het detecteren van aardappelopslag in andere gewassen komt er nog een nieuwe dimensie bij. Aardappelopslag is namelijk niet het enige onkruid dat in deze gewassen groeit. Andere onkruiden zoals melde, roodbeen en hanepoot zouden ook herkend en gespoten moeten worden als het systeem toch door het veld rijdt. Al deze uitdagingen tezamen zorgen ervoor dat er niet één strategie duidelijk

---

de logische is. Het zou gezien kunnen worden als voor de hand liggend om het herkenningssysteem zo te trainen dat alleen de teeltgewassen herkend worden en alle andere groene objecten doodgespoten worden. Echter kan het systeem ook getraind worden om juist alleen de verschillende soorten onkruid te herkennen om daarna per onkruidsoort het minst schadelijke gewasbeschermingsmiddel toe te passen. Onafhankelijk van de gekozen strategie staat vast dat, om deze systemen door te laten stromen naar de praktijk, ze vooral betrouwbaar en makkelijk en goedkoop toepasbaar moeten zijn. Onderzoek zal moeten uitwijzen wat uiteindelijk de beste keuze is op dit vlak terwijl voldaan wordt aan de eisen van de boer.

## 6.3 Gewasbeschermingsmiddel

Hoewel dit project werkt aan een high-tech toepassing zit er één negatief aspect aan het ontwikkelde systeem. Er wordt namelijk gebruik gemaakt van gewasbeschermingsmiddel, iets wat in 2019 toch wel als ongewenst bestempeld kan worden. Hoewel bij sommige onkruiden het simpelweg los schoffelen van het onkruid voldoende is voor een succesvolle bestrijding is dit bij aardappels helaas niet aan de orde. Meerdere onderzoeken zijn er al aan gewijd om een methode te ontwikkelen om zowel de plant als de knol te bestrijden zonder gewasbeschermingsmiddel. Alternatieve methodes waarbij het teeltgewas niet beschadigd wordt zijn schaars en nemen vaak een te lange tijd per aardappelopslagplant om te kunnen concurreren met de snelle toepassing van gewasbeschermingsmiddel. Desalniettemin zal de zoektocht naar alternatieve methodes onverminderd doorgaan. Als een methode ontwikkeld wordt die zich kan meten met de toepassing van gewasbeschermingsmiddel dan zal deze methode al snel de voorkeur hebben. Omdat detectie en actuatie in het huidige systeem eigenlijk los van elkaar staan kan zo'n nieuwe bestrijdingsmethode relatief makkelijk gekoppeld worden aan het bestaande detectiesysteem.

---

# 7 Dankwoord

Dit project is een succes geworden door de fijne samenwerking tussen een aantal partijen. In dit hoofdstuk nemen wij graag de gelegenheid deze partijen te benoemen.

## 7.1 Provincie Drenthe

Graag danken wij de provincie Drenthe voor het mede mogelijk maken van dit project. Zonder de financiële steun en het enthousiasme van de gedeputeerde dhr. Jumelet was dit project niet mogelijk geweest. Mede door de inspirerende speech op de demo-dag in augustus laten we hiermee zien dat Drenthe hart heeft voor zijn agrarische sector. De boodschap dat de provincie de problemen in de sector herkent en graag bijdraagt om deze het hoofd te bieden was kraakhelder. Wij danken de provincie voor het in ons gestelde vertrouwen om hieraan te mogen meewerken.

## 7.2 KPN

Door te investeren in dit project laat KPN zien dat zij wederom kansen zien in de landbouw en dat zij, naast het verlenen van services, ook een serieuze partner zijn op het gebied van innovatie. Als bedrijf met zijn roots in Nederland weet KPN als geen ander dat er flink kansen en uitdagingen liggen in de landbouw. KPN wil hierin graag bijdragen en ziet een rol weggelegd in de communicatie, maar daarnaast ook in het leveren van dashboard-functionaliteit en cloud-services. De communicatietechnologie en cloud-services geleverd door KPN spelen een essentiële rol in dit project en KPN laat hiermee zien klaar te zijn voor de toekomst. Experimenten en demonstraties in het 5G Field Lab van KPN in Valthermond zullen ongetwijfeld in de toekomst nog innovatiever zijn.

## 7.3 Proefbedrijf 't Kompas Valthermond

Op het terrein van Proefbedrijf 't Kompas in Valthermond is door KPN een 5G antenne geplaatst. Hiermee draagt Proefbedrijf 't Kompas bij aan het 5G Field Lab in Drenthe. Tijdens de uitvoering van dit project waren alle betrokkenen bij het project zonder meer welkom op het proefbedrijf en daarnaast waren we tijdens twee demodagen te gast op het proefbedrijf. Ook bij het verzamelen van data en het uitvoeren van tellingen tijdens de experimenten hebben de mensen van het proefbedrijf een belangrijke bijdrage geleverd. We willen de medewerkers van het proefbedrijf dan ook nogmaals hartelijk danken voor hun betrokkenheid en hulp bij dit project.

## 7.4 Vakgroep Farm Technology – WUR

Studenten van de vakgroep Farm Technology hebben ook een enthousiaste bijdrage geleverd aan dit project. Door aan projecten als deze te werken in hun afstudeeropdracht kunnen studenten van de WUR tijdens hun studie al bijdragen aan een toekomstbestendige landbouw, wat studenten de motivatie geeft hun beste beentje voor te zetten. Onze specifieke dank gaat uit naar Thijs Ruigrok, PhD student bij de vakgroep Farm Technology, die een deel van zijn promotieonderzoek heeft gewijd aan het betrouwbaar herkennen van planten onder vele verschillende omstandigheden. Zijn eerste vindingen zijn verwerkt in dit project en hebben daar meteen resultaat laten zien.

---

## 7.5 Stuurgroep Aanpak Aardappelmoeheid

De stuurgroep aanpak aardappelmoeheid, een samenwerking tussen LTO, Avebe, Stichting TBM, BO-Akkerbouw en NAV, heeft als doel een permanente oplossing te vinden voor het aaltjesprobleem dat zich voordoet in de aardappelteelt. De stuurgroep heeft het efficiënt aanpakken van aardappelopslag aangemerkt als bijdrage aan dat doel en zodoende ondersteuning geboden bij de ontwikkeling van het eerste prototype voor autonome aanpak van aardappelopslag. Mede door het vertrouwen van de stuurgroep is de 1e fase van ontwikkeling van het prototype binnen het project Autonome Aanpak Aardappelopslag mogelijk geweest en zodoende van belangrijke input geweest in de 5G Rural Fieldlab Drenthe om een demonstratie mogelijk te maken.

## 7.6 Others

We also wish to thank:

Agrotop for supplying us with spraying nozzles better suited for this application.

AgroIntelli for supporting us in solving Robotti-related challenges.



---

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research)

Rapport WPR

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

