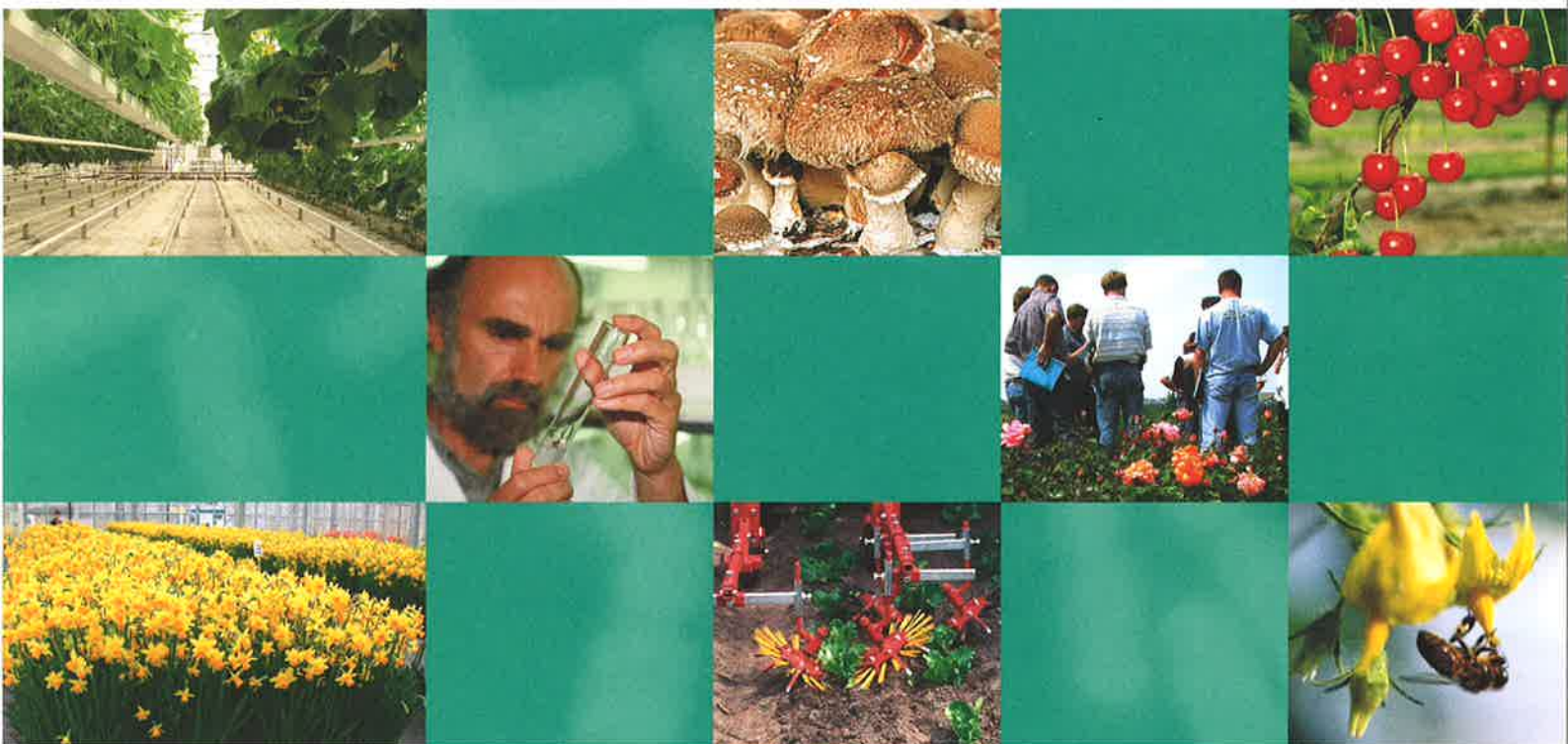




Verkenning automatische verwijderingstechnieken

Programma Precisie Landbouw nr 104

Ton Baltissen (red.), Jan Willem Hofstee, Bart van Tuijl



Verkenning automatische verwijderingstechnieken

Programma Precisie Landbouw nr 104

Ton Baltissen (red.), Jan Willem Hofstee, Bart van Tuijl

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. 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 DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Bloembollen, Boomkwekerij & fruit.

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



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



Projectnummer: PPO 3236158312 / PPL 104

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij & fruit

Address : Postbus 85, 2160 AB Lisse
: Prof. Van Slogterenweg 2, Lisse
Tel. : +31 252 462121
Fax : +31 252 462100
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.wageningenur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Vraagstelling	5
1.3	Overige betrokkenen.....	6
2	METHODE	7
2.1	PPL	7
2.2	Aanpak	7
3	RESULTATEN	9
3.1	Inventarisatie huidige methode van verwijdering van tulp	9
3.2	Verwijdermethoden, een eerste technische verkenning	9
3.2.1	Inleiding	9
3.2.2	Chemisch, op de kar bespuiten en afdoden van zieke tulpen.	10
3.2.3	Warmte bronnen inzetten, de bol en of loof blootstellen aan een hoge temperatuur.....	11
3.2.4	Mechanisch trekken met robotarm of anders aangedreven gereedschap.....	12
3.2.5	Indirecte verwijder methoden, mogelijke werkwijzen.	13
3.3	Verwijdermethoden, een tweede verkenning.....	15
3.3.1	Inleiding	15
3.3.2	Laser	15
3.3.3	Branden	16
3.3.4	Bespuiten.....	16
3.3.5	Mechanisch.....	17
3.3.6	Doden van de bol.....	18
3.4	Meerdere planten in beeld – Wat dan?	18
3.4.1	Inleiding	18
3.4.2	Markeren op basis van dGPS	18
4	CONCLUSIE EN DISCUSSIE	21
5	LITERATUUR.....	22
	BIJLAGE 1 PLAATSSPECIFIEK VERWIJDEREN AARDAPPELOPSLAG	23

1 Inleiding

1.1 Inleiding

De teelt van tulpen kampt met aantasting door verschillende virussen, met name door het mozaïekvirus (Tulip Breaking Virus of TBV). Virusaantasting uit zich in de vorm van vaak subtiele strepen, vlekken in het blad en kleurafwijkingen in de bloemen. De aanwezigheid van het virus in de tulpenbol verlaagt de opbrengst en de kwaliteit en is een belemmering voor de export. Bij een hoge besmetting worden hele partijen afgekeurd.

In de teelt van tulpen is het gebruikelijk viruszieke planten vroegtijdig op te sporen en te verwijderen. Dit gebeurt middels een systeem van ziekzoeken: speciaal getrainde ziekzoekers inspecteren de tulpenpercelen en verwijderen zieke planten. Deze wijze van opsporing is specialistenwerk, vermoeiend, arbeidsintensief en daardoor duur. Gemiddeld per seizoen bedraagt de arbeidsbehoefte voor het opsporen en verwijderen 40-45 uur per hectare, met uitschieters naar boven en beneden van resp. 100 en 20 uur. Bovendien is het herkennen van viruszieke planten niet eenvoudig, met name onder ongunstige weersomstandigheden. Snel en sterk wisselende intensiteiten van zonnestraling bemoeilijken een accurate visuele detectie. De handmatige selectie van zieke tulpenplanten kost naar schatting jaarlijks meer dan 9 miljoen Euro.

Een groter probleem dan de kosten voor het personeel is dat de vereiste expertise niet of nauwelijks voorhanden is: het vereist ervaring en zorgvuldigheid. Niet alle viruszieke planten worden gevonden. Vanuit arbeid technisch oogpunt is dit sterk seizoensgebonden werk ongewenst. Het is dan ook zeer moeilijk geschikt personeel te vinden.

Daarnaast is er ook een milieutechnische reden. Om de verspreiding van het virus gedurende het teeltseizoen tegen te gaan vindt er een intensieve chemische bestrijding van luizen plaats via minerale oliën en pyrethroïden. Zeker door de toenemende bezorgdheid om bepaalde middelen te mogen gebruiken is een milieuvriendelijke wijze van ziekzoeken (wegnemen van virusinfectiehaarden) een aantrekkelijk alternatief.

Samenvattend: het is dus om economische, arbeid technische én milieukundige redenen gewenst virusaantasting zoveel mogelijk te voorkomen.

Een consortium van kwekers, WUR-PPO, Agro-Syntens met steun van de sector (KAVB) heeft als doelstelling om het percentage viruszieke tulpen in de gehele keten terug te dringen door middel van het ontwikkelen en testen van een autonoom werkend prototype apparaat voor detectie en verwijdering van virus besmette (tulpen) planten in het open veld.

1.2 Vraagstelling

Het consortium van bloembollenkwekers ontwikkelt samen met diverse instellingen “de ziekzoekkar”, automatische detectie en verwijdering van de zieke tulp. Hierbij wordt de volgende aanpak gevolgd:

Fase 1. Ontwikkeling visionsysteem

In dit deelproject wordt een systeem ontwikkeld waarmee in het veld (handmatig) beeldopnames kunnen worden gemaakt. De verwachting is deze fase af te kunnen sluiten in 2012-2013.

Fase 2. Vervolg van de ontwikkeling van het detectiesysteem en opstart ontwikkeling verwijderingssysteem. Deze fase omvat o.a. het starten van de ontwikkeling van een verwijderings- of markeringssysteem. De locatie van de zieke tulp (plant omdat het wellicht ook voor andere gewassen zal gelden) moet bekend zijn om vervolgacties/maatregelen zoals markering of verwijdering te laten plaatsvinden.

Welke mogelijkheden van verwijderen zijn er en welke mogelijkheden zijn er voor lokalisering van de zieke plant, zodat gericht de juiste handeling kan worden uitgevoerd.

Fase 3. Ontwikkelen en testen ziekzoekkar, integratie detectie en verwijdering

Het project bevindt zich momenteel op de overgang van fase 1 naar 2.

Het doel van dit onderzoek is een inventarisatie naar de (technische) mogelijkheden van verwijderen en/of markeren van de zieke plant en welke mogelijkheden er zijn voor de exacte lokalisering van de zieke plant.

1.3 Overige betrokkenen

Dit rapport is mede mogelijk gemaakt door bijdragen van:

Jan Willem Hofstee, Wageningen Universiteit, Leerstoelgroep Agrarische bedrijfstechnologie

Bart van Tuijl, WUR Glastuinbouw

Maarten de Kock en Martin van Dam (PPO-BBF)

Begeleidingsgroep project ziekzoeken bestaande uit:

Organisatie	Deelnemer
Karel Bolbloemen BV	Bert Karel
Apeldoorn Bloembollen	Piet Apeldoorn
Leek Bloembollen	Pieter Leek
Wit Flowerbulbs	Nico Wit
Boon Bloembollen	John Boon
G Oud	Richard Oud
Poel Bloembollen	Louis Poel
Voorzitter	Kees Stoop

2 Methode

2.1 PPL

De bollenkwekers investeren al jaren in de ontwikkeling van de ziekzoekkar. De prioriteit is in eerste instantie de detectie van de TBV zieke tulp. Via het PPL programma kon een ontwikkelverzoek worden ingediend voor verkenning naar verwijderingstechnieken. Dit rapport is het resultaat van de uitgevoerde verkenning.

Zie ook www.pplnl.nl

2.2 Aanpak

Binnen dit project werden de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Inventarisatie eisen en wensen van het consortium
- Inventarisatie van technieken voor verwijdering en markering
- Inventarisatie van lokaliseringstechnieken
- Beoordelen technieken en benodigde ontwikkeling
- Communicatie
- Verslaglegging

Het consortium van kwekers werd ingezet om de wensen en eisen te formuleren. In overleg met de toeleverende industrie zal een techniek gekozen worden in het vervolgtraject van de ziekzoekkar.

3 Resultaten

3.1 Inventarisatie huidige methode van verwijdering van tulp

Bij nettenteelt op de klei, maar ook steeds vaker op zandgrond, worden viruszieke planten chemisch geselecteerd. Planten krijgen een spuitje met een herbicide op het blad / in de bladoksel dat er voor zorgt dat de plant/bol binnen 2 a 3 weken afgestorven is. Er is nog al wat discussie over de beste cocktail van herbiciden (effectiviteit/snelheid). Elke leverancier heeft hiervoor zijn eigen adviezen.

Bij selectie wordt (vaak) een druppel in de bladoksel gespoten nadat de bovenste helft van de plant is verwijderd. Dat afbreken heeft verschillende redenen:

- Vergroot de effectiviteit van systemische selectiemiddelen (is soms wel aangetoond soms ook geen verschil tussen wel en niet afsnijden)
- De plant gaat weg zodat je er bij een volgende selectieronde geen tijd meer aan besteed.
- Het voorkomt dat de behandelde planten weer gezonde omstanders raakt waardoor deze ook met het middel in aanraking kunnen komen (was vroeger bij Paraquat een probleem)
- Het zorgt ervoor dat de plant geen bron vormt voor verspreiding van virus zolang de plant nog niet is afgestorven.

Momenteel (2012) loopt er een PT onderzoek naar de effectiviteit van de methode, tijdstip en middelen die gebruikt worden bij de chemische selectie.

De eerste stap is natuurlijk ook detectie van de zieke tulp. Daarna wordt bovengenoemde handeling uitgevoerd of de plant wordt eerst gemerkt met een verfstof en later doodgespoten.

De effectiviteit van de methode is afhankelijk van gebruikte middelen, tijdstip, mate van beschadiging en weersomstandigheden tijdens en na de behandeling. Er wordt geen 100 % doding gerealiseerd en daarmee blijft er een risico bestaan. De effectiviteit van chemische selectie van viruszieke tulpen is dus een bron van zorg. Het is belangrijk dat het resultaat van een behandeling snel zichtbaar is en resulteert in een effectieve doding van de bol.

Van belang is natuurlijk dat buurt planten niet geraakt worden en dat plant niet meer als infectiebron kan optreden. Daarom wordt de zieke tulp ook wel als geheel verwijderd. Zeer effectief, maar bewerkelijk. Dit kan makkelijker als er geen nettenteelt plaatsvindt. Dan kan de zieke tulp (dode tulpenbol) pas verwijderd worden na het rooien. Dat is handwerk en niet alle bollen worden verwijderd.

Een bezwaar tegen chemische selectie is dat gedurende het afsterven van de plant bladluizen nog steeds van deze plant virus kunnen opnemen en dat virusverspreiding dus nog 2-3 weken door kan gaan (ook al weet men dat er een zieke plant in het veld staat). Ook is de effectiviteit van afsterven van de volledige bol nog wel eens een probleem. Chemische selectie werkt niet goed tijdens regenachtig weer; het herbicide spoelt van de tulp af. Ook verwaait er nog wel eens wat herbicide waardoor buurplanten schade oplopen.

3.2 Verwijdermethoden, een eerste technische verkenning

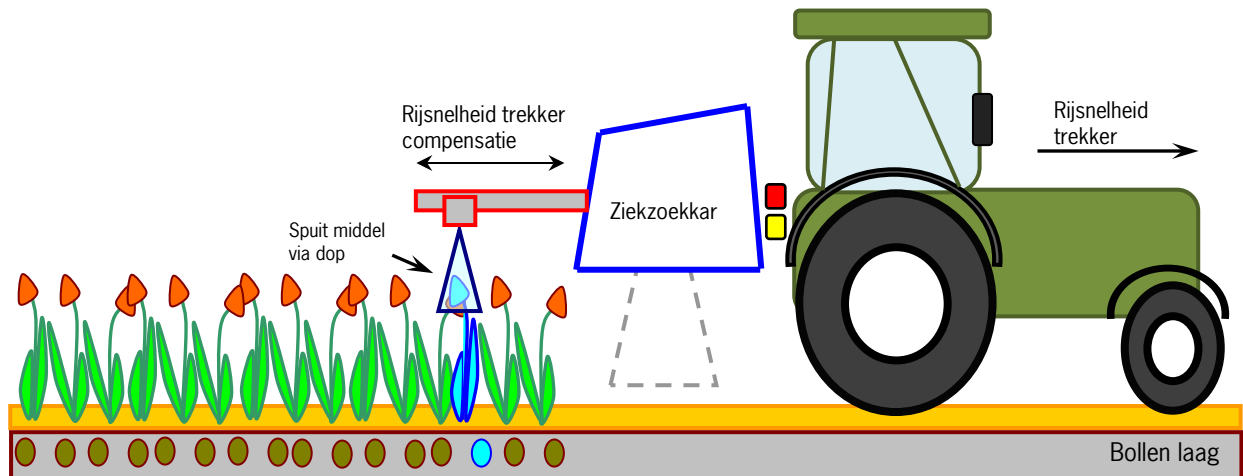
3.2.1 Inleiding

De methoden worden beschreven vanuit het moment dat er een bepaald signaal is gegeven door de symptoomzoeker of ziekzoekkar. Of de ziekzoekkar aangedreven wordt door een trekker of zelfrijdend is staat los van de methoden, dit zal verder uitgewerkt moeten worden.

Het signaal van de ziekzoekkar wordt gebruikt om te beschrijven wat de mogelijke handelingen zijn om de

zieke tulp te verwijderen. Het gevonden coördinaat van de zieke tulp kan ten eerste direct worden gebruikt binnen dezelfde ziekzoek machine om de zieke tulp door een methode te scheiden van gezonde tulpen in het veld. Onderstaande methoden beschrijven deze eerste werkwijze.

3.2.2 Chemisch, op de kar bespuiten en afdoden van zieke tulpen.

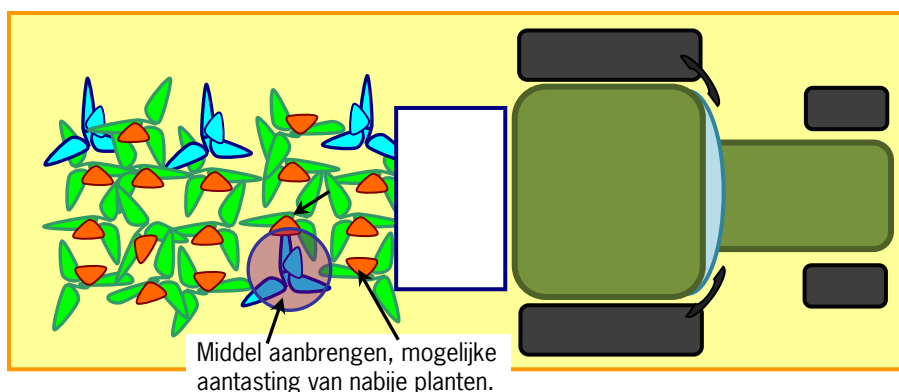


Beschrijving:

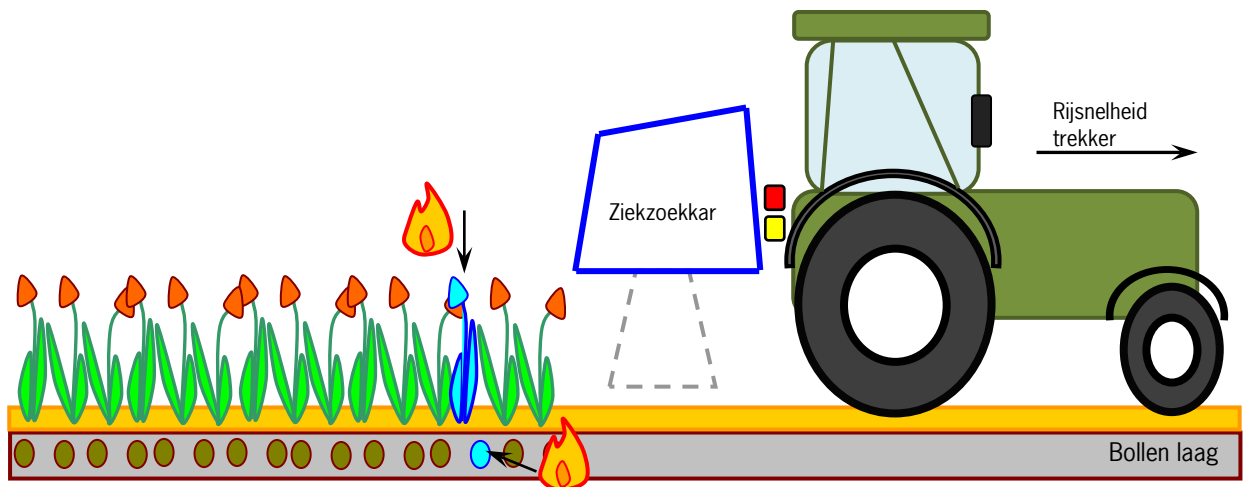
- Via spuitdoppen achter op de ziekzoekkar wordt afdodend middel aangebracht op de zieke tulp.

Aandachtspunten:

- De spuitdoppen dienen het middel op de exacte locatie van de zieke tulp aan te brengen.
- Bij een dichtgegroeid veld zouden gezonde tulpen geraakt kunnen worden bij een niet voldoende nauwkeurige bespuiting.
- De spuitkegel dient voldoende de zieke tulp te raken maar niet te groot te zijn. Het middel moet voldoende snel aangebracht worden om versleping naar de volgende tulp te voorkomen.
- Mocht het ziekzoeken op een hogere snelheid uitgevoerd worden dan er kan worden bespoten is een rijsnelheid compensatie gewenst. De spuit en rij snelheden kunnen worden gecompenseerd door de dop zodanig te sturen dat deze een kort moment boven de zieke tulp blijft hangen. Het is dan noodzakelijk om de rijsnelheid van de ziekzoekkar te meten.
- Precisie spuiten is in ontwikkeling.



3.2.3 Warmte bronnen inzetten, de bol en of loof blootstellen aan een hoge temperatuur.



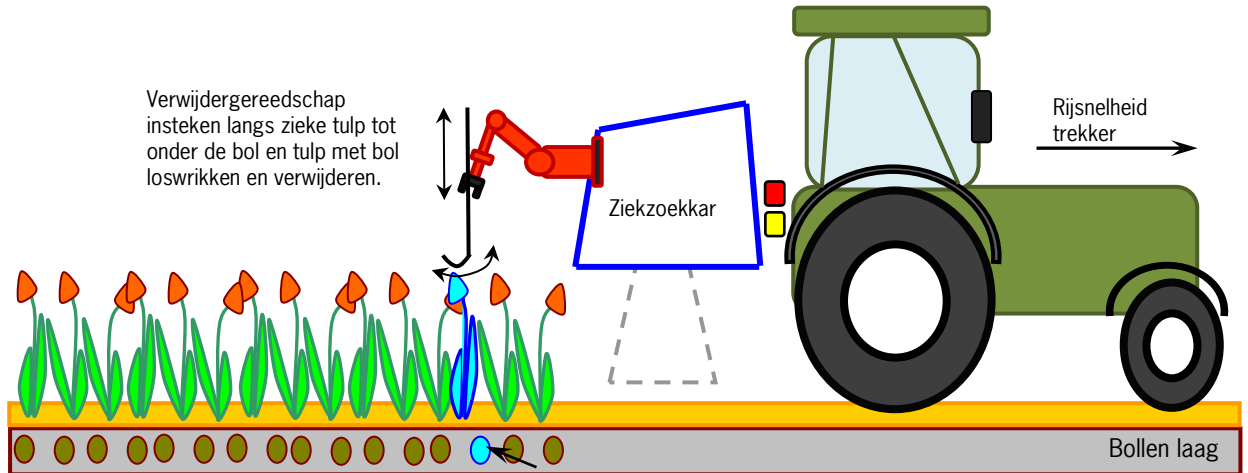
Beschrijving:

- Via een transportabele warmte bron (open vuur, elektrische stroom, stoom of magnetronstraling) de bovengrondse delen voldoende verhitten zodat de plantcellen voldoende worden beschadigd en de zieke tulp afsterft.
- Een warmtepuls inbrengen in of in de omgeving van de zieke bol. Deze voldoende lang aanbrengen zodat de bol in de grond voldoende wordt beschadigd.

Aandachtspunten:

- De warmte dient in een voldoende mate en tijd worden aangebracht.
- De tijdsduur van ziekzoeken en warmte aanbrengen kan daardoor verschillen en kan gecompenseerd worden door de trekker te stoppen of de warmtebron ten opzichte van de trekker te verplaatsen.
- De warmtebron moet voldoende nauwkeurig te plaatsen zijn om beschadiging van gezonde planten te voorkomen.
- De warmte moet lokaal op de machine op te wekken zijn.
- Bij gebruik van magnetron straling moet de omgeving daartegen voldoende afgeschermd worden.
- De bol zit niet altijd direct onder het loof, bij het aanbrengen van warmte bij de bol vormt dit een belangrijk probleem.
- De warmte bron mag bij gebruik van netten deze niet beschadigen.

3.2.4 Mechanisch trekken met robotarm of anders aangedreven gereedschap



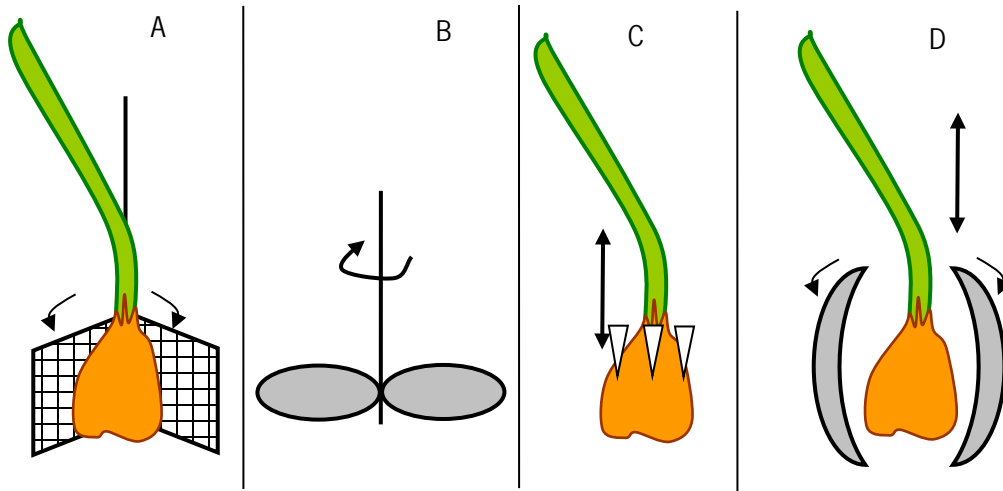
Beschrijving:

- Via een geleidingssysteem het loof zodanig grijpen dat de tulp met bol uit de grond wordt getrokken. Het verwijderde materiaal daarna afleggen in een kuubskist.

Aandachtspunten:

- De bol en het loof zitten niet altijd direct onder elkaar, bij een methode waarbij de bol onder de grond gegrepen moet worden levert dit problemen op.
- Het gereedschap moet snel in te brengen zijn, de verwijder actie moet snel plaats vinden
- Door de af te leggen afstand naar de bol en de tijd die nodig is om het gereedschap te koppelen aan de plant zal de ziekzoekkar voor een korte tijd stil moeten staan.
- Het mechanisme moet voldoende nauwkeurig zijn. Bij gebruik van robotarmen of andere elektromechanische inrichtingen (deze zijn sneller dan hydraulische sturingen) moeten deze voldoende beschermd worden tegen weersinvloeden.
- De zoekbreedte van de ziekzoekkar moet overeenstemmen met de werkbreedte van het gereedschap. Dit kan opgelost worden door meerdere armen/mechanismen op te nemen. In dat geval is het nodig om botsingen tussen de gereedschappen te voorkomen.
- Voorkomen van beschadiging van buurtplanten

Overige mechanische middelen:



- A: Pletten
- B: Staafmixer
- C: Aanspiezen/uittrekken
- D: Klemmen (lepels)/uittrekken

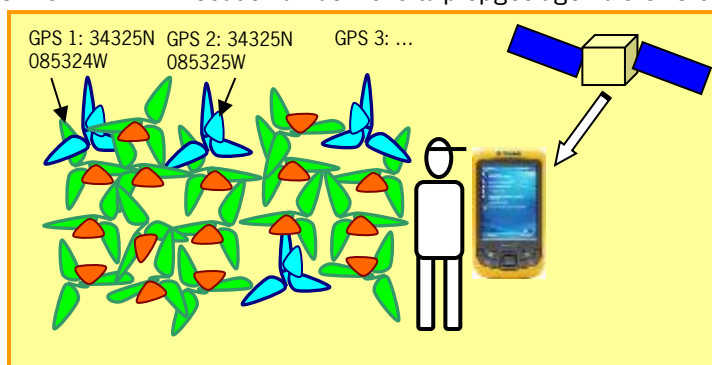
Beschrijving:

- Een gereedschap aanbrengen in de buurt van een bol en deze zodanig belasten dat ze permanent wordt vernietigd (geval A en B).
- De bol fixeren of omklemmen en deze uit de grond trekken (geval C en D).

3.2.5 Indirecte verwijder methoden, mogelijke werkwijzen.

Ten tweede kan de coördinaat opgeslagen worden om later in de tijd dit coördinaat op te zoeken en de zieke tulp dan te verwijderen. Onderstaande methoden beschrijven enkele uitvoeringsmogelijkheden.

3.2.5.1 locatie van de zieke tulp opgeslagen als GPS coördinaat.



Beschrijving:

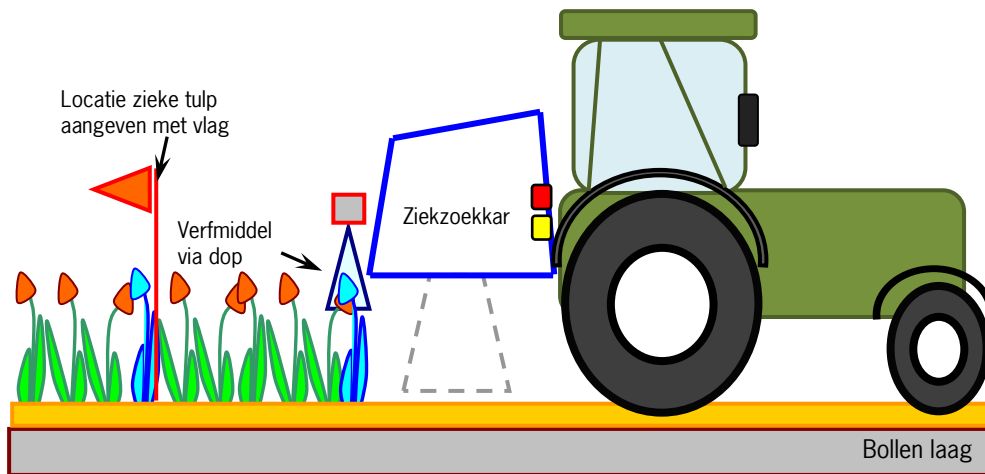
- De ziekzoekkar slaat de locatie van zieke tulpen op als GPS coördinaat. Een plukker zoekt de coördinaat op een later tijdstip op via een GPS ontvanger en trekt de tulp uit het veld.

Aandachtspunten;

- De gebruikte GPS coördinaten moeten voldoende nauwkeurig zijn om een individuele tulp met zekerheid te lokaliseren in het veld
- Nauwkeurige GSP systemen (RTK-DGPS) zijn duur in gebruik en aanschaf.

- De plukker heeft een buffer nodig om de zieke tulpen en bollen te kunnen wegleggen.

3.2.5.2 Locatie van de zieke tulp aanduiden in het veld door hulpmiddel



Beschrijving:

- De ziekzoekkar heeft een verfspuit inrichting waarmee de zieke tulp gemarkeerd wordt in het veld.
- Bij de zieke tulp wordt een signaalgever geplaatst (vlag, bordje) om de locatie vast te leggen.
- Een plukker zoekt op een eventueel later tijdstip de gemarkeerde tulpen op en verwijdert al dan niet met een hulpgereedschap de zieke tulp en legt deze af in een buffer.

Aandachtspunten;

- De gebruikte verf moet weersbestendig zijn als er tussen detectie en verwijdering een langere tijd zit. Bijvoorbeeld verf waarmee lijnen op sportvelden wordt getrokken.
- De spuitinrichting moet voldoende nauwkeurig zijn om vervuiling van andere tulpen te voorkomen en eenduidig genoeg zijn om fouten van de plukker te voorkomen.
- Meerdere spuitinrichtingen plaatsen op de volledige zoek breedte van de machine.
- Vlaggen of andersoortige markeringen dienen in het hart van de plant of op een eenduidige manier gestoken te worden om verwarring over de locatie van de zieke tulp te voorkomen.

Onderstaande foto geeft de ontwikkelde chemische methode aan voor bestrijding van aardappelopslag in suikerbieten.



Foto 1. Bestrijding aardappelopslag in bieten

3.3 Verwijdermethoden, een tweede verkenning

3.3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte methoden. Bij directe methoden bevindt het verwijdermechanisme zich op de zieke tulp. Genoemde mogelijk verwijdermechanismen zijn:

- (a) Spuiten met chemisch middel
- (b) Verhitten d.m.v. een warmtebron
- (c) Mechanische, door middel van uit de grond trekken, verpulveren e.d.

Bij de indirecte methoden wordt de positie van de gedetecteerde zieke tulp eerst opgeslagen. In een tweede separate actie wordt de zieke tulp met de hand verwijderd. De volgende mogelijkheden zijn hierbij genoemd voor het vastleggen van de zieke tulpen:

- (a) GPS coördinaat opslaan
- (b) Locatie zieke tulp markeren

In dit hoofdstuk worden een aantal van deze technieken verder uitgewerkt. Doel is om daarmee helder te krijgen welke technieken mogelijk succesvol kunnen zijn in een vervolgtraject en welke mogelijk minder perspectiefvol zijn.

3.3.2 Laser

Door Marx *et al.* (2012) van de Leibnitz University Hannover (Biosystems Engineering Section), Laser Zentrum Hannover e.V. en de University of Duisburg-Essen is recentelijk een onderzoek gepubliceerd over een laser gebaseerde methode voor het bestrijden van onkruid. Eerste doel van dit onderzoek was het bepalen van de optimale laser parameters (o.a. diameter van de laser en juiste positionering van de laser) en plant parameters (o.a. grootte van de plant). Tweede doel was het ontwikkelen van een model waarmee de beschadiging van planten als gevolg van een laserbehandeling voorspeld kan worden zodat de laserbehandeling geoptimaliseerd kan worden.

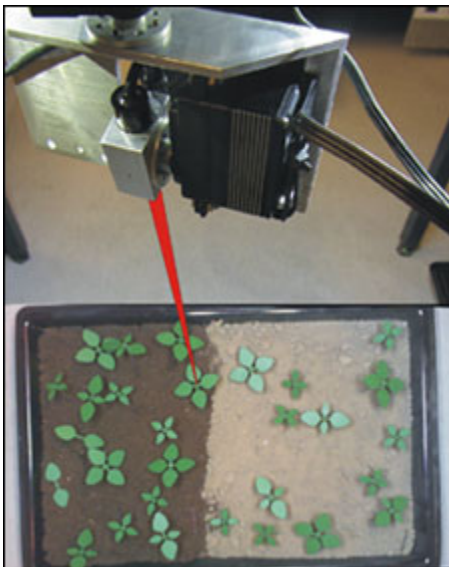


Foto 2. Laser behandeling van onkruid (Lazer Zentrum Hannover, www.lzh.de)

De laserbehandeling is gebaseerd op dat de laserstraal het thermisch evenwicht van de plant verstoort. Hierdoor wordt het weefsel (gedeeltelijk) beschadigd als gevolg van warmte transport (convectie, straling en geleiding) en verdamping.

De volgende factoren zijn in dit onderzoek van belang:

- (a) Onkruid: Monocotyl (*Echinochloa crus-galli*) en Dicotyl (*Amaranthus retroflexus*);
- (b) Groeistadium: kiemplant, twee blad stadium en vier blad stadium. De planten varieerden in grootte van 30 mm tot ongeveer 120 mm met vers gewichten tussen ongeveer 8 en 250 mg;

- (c) Golflengte laser: 10600 nm (CO₂ laser);
- (d) Laser dosis: onbehandeld, onbehandeld 14 dagen na behandeling (als controle), en zes dosis (0.08, 0.31, 0.63, 1.25, 2.50 en 5.00 J·mm⁻²);
- (e) Laser diameter (spot area): 3 mm (ca. 7 mm²), 4.2 mm (ca. 14 mm²), 6.0 mm (ca. 28 mm²) (de diameter is gevarieerd door het veranderen van de afstand tussen de lens en het meristeem (off focus));
- (f) Laser spot positie: centrum van het meristeem, 49% bedekking en 8% bedekking, gerealiseerd door verschuiving van het centrum van de bundel t.o.v. van het centrum van het meristeem;
- (g) Duur van de laserbehandeling: 500 ms.

Verder is het belangrijk te melden dat het onderzoek uitgevoerd is in een laboratorium waar het mogelijk was om de laserbundel exact te positioneren, zowel qua hoogte als positie in het horizontale vlak. Het onderzoek laat zien dat de monocotyle onkruiden een lagere doding laten zien dan de dicotyle onkruiden. Onkruiden in het grootste stadium laten nauwelijks tot geen doding zien. De laagste dosis (0.08 J·mm⁻²) laat vrijwel geen doding zien. Naarmate de offset toeneemt, neemt de doding af. In het onderzoek wordt geconcludeerd dat er minimaal 54 J energie benodigd is om een plant te doden (95% betrouwbaarheid). Tulpen planten zijn vele malen groter dan de onkruiden die in dit onderzoek gebruikt zijn. Dit betekent voor een praktische toepassing dat met relatief grote laservermogens en lange bestralingsduur gewerkt zal moeten worden om een effectieve doding te realiseren. Marx et al (2012) komen tot een energiebehoefte van ongeveer 13-15 kJ·g⁻¹.

CO₂ lasers worden in de industrie veelvuldig gebruikt voor het snijden en lassen van materialen. Dit betekent dat er in potentie voldoende energie aanwezig moet zijn om hiermee planten te doden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de grootte van de spot extreem klein is. Orca Photonic Systems) geeft een diameter van 0.1 mm (7.9 10⁻³ mm); dit is bijna een factor 1000 kleiner dan de kleinste spot gebruikt in het onderzoek van Marx *et al.* (2012). Meer energie voor het doden van een plant kan gerealiseerd worden door een kleine spot te gebruiken (maar dat vraagt wel nauwkeurig focuseren) en eventueel een langere duur. Door Marx *et al.* (2012) werd de hoeveelheid energie o.a. geregeld door de pulsduur korter en langer te maken.

Gezien het feit dat, in vergelijking met tulpen, de kleine onkruiden in het onderzoek van Marx *et al.* (2012) alleen gedood worden als ze in het kleinste stadium zijn en bij de hoogst energie dosis met nauwkeurige positionering, mag verwacht worden dat het voldoende doden van zieke tulpen met behulp van laser niet eenvoudig zal zijn. Vooral ook omdat het zeer lastig zal zijn de laserbundel nauwkeurig te richten op het punt van waaruit de tulp groeit en omdat voor voldoende energie om schade aan te kunnen richten er goed gefocust moet kunnen worden. In een toepassing in het open veld zal dit niet eenvoudig zijn. Verder moet gerealiseerd worden dat een laser met een vermogen van 500 W output vermogen ongeveer 80 kW vermogen vraagt en daarnaast een aanzienlijk koelend vermogen.

3.3.3 Branden

Verwant aan de laser is het wegbranden van de zieke tulp. Ook hier gaat het om door middel van energie zodanig beschadigen van de plant dat deze doodgaat. Bij branden is het van belang er voor te zorgen dat dit zeer gericht gedaan wordt zodat naastliggende planten niet beschadigd worden.

3.3.4 Bespuiten

Nieuwenhuizen (2009) heeft in het kader van het STW project Automated Detection and Control of Volunteer Potatoes een methode ontwikkeld voor het detecteren en verwijderen van aardappelopslag.

Aardappelopslag wordt hierbij met behulp van vision technologie opgespoord en vervolgens wordt met een microsprayer een of meer druppels glyfosaat aangebracht op de aardappelopslag plant. Een belangrijk voordeel van deze methode is dat er geen bewegende (mechanische) delen gebruikt worden waardoor redelijk hoge snelheden gerealiseerd kunnen worden. Een belangrijk aspect hierbij is de precisie die gerealiseerd kan worden.

Bij de precisie spelen een aantal factoren een rol:

Uitgaande van een online toepassing, is de beschikbare rekentijd voor het verwerken van een beeld gelijk aan de grootte van het beeld in de rijrichting gedeeld door de rijnsnelheid. Voor de aardappelopslag verwijdering unit was de beeldgrootte in de rijrichting 20 cm en met een rijnsnelheid van 1 m/s betekent dit

een beschikbare rekentijd van 0.2 s.

Ook is er een bepaalde afstand tussen het gebied dat de camera ziet en de plaats van de druppelunit. Dit is de wachtafstand en de tijd die gewacht moet worden tussen het resultaat van de detectie en het afvuren van de druppel is gelijk aan deze afstand gedeeld door de rijsnelheid. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de volle beschikbare rekentijd benut wordt.

De druppels moeten eerder worden losgelaten dan de spuitunit de plant bereikt. De afstand d_x is (bij benadering) gelijk aan Nieuwenhuizen (2009):

$$d_x = \frac{v_{xd}}{v_{zp}} d_z$$

waarbij v_{xd} de voorwaartse snelheid, v_{zp} de initiële druppelsnelheid en d_z de afstand tussen de naald en de plant. Deze afstand gaat van de wachtafstand af die in de stap hiervoor berekend is. Met een voorwaartse snelheid van 1 m/s en een initiële druppelsnelheid van 2 m/s, betekent dit dat de voorlooppafstand gelijk is aan 0.5 keer de afstand tussen gewas en naald. Deze afstand moet minimaal zitten tussen het vlak dat door de camera wordt waargenomen en de druppelunit.

Uit experimenten gericht op de nauwkeurigheid is gebleken dat de nauwkeurigheid van de plaatsing van de druppels in de rijrichting ± 1.4 cm is. Een groot gedeelte van deze onnauwkeurigheid komt van de variatie in de initiële druppelsnelheid. Uit de metingen van druppelsnelheid was het gemiddelde 2 m/s met een standaard deviatie van 0.2 m/s. Met een snelheid van 0.4 m/s en een afstand van 30 cm tussen naald en vlak van bespuiting resulteert dit in een afstand van 1.2 cm. Het is dus van belang dat de druppelsnelheid constant is of – als dat niet lukt – continu gemeten wordt zodat daarvoor kan worden gecorrigeerd.

3.3.5 Mechanisch

Een andere mogelijkheid is om de tulpen mechanisch te verwijderen. Hierbij is het belangrijk of het voldoende is om het blad te verwijderen of dat de tulpenbol daadwerkelijk uit de grond gehaald moet worden. Nieuwenhuizen (2009) heeft voor zijn onderzoek een aantal oriënterende metingen gedaan om te kijken of het mogelijk was om de aardappelopslag knollen uit de grond te trekken. Dit bleek niet goed realiseerbaar te zijn omdat bij trekken aan het loof de knollen vaak in de grond achterbleven. Andere mogelijkheden kunnen zijn de tulpenbol met een boor of i.d. uit de grond te boren. Als het daadwerkelijk verwijderen uit de grond niet noodzakelijk is en alleen vernietigen van het loof voldoende is, dan is afsnijden van het loof een goed mogelijkheid.

Een belangrijk nadeel van mechanische oplossingen is dat deze – als het om grotere armen e.d. gaat – relatief traag worden omdat anders de krachten te groot worden. Deze grote krachten vereisen dan weer een zwaardere constructie. Verder is ook het precies positioneren binnen een korte tijd een grote uitdaging, helemaal als de constructie zwaarder wordt. Ook zijn mechanische oplossingen kwetsbaar in een agrarische omgeving.

Jeon *et al.* (2011) beschrijven een kleine robot met daarop een manipulator gemonteerd die gedetecteerde onkruiden bespuit. Jeon (2008) laat verder zien dat een ongeveer 2/3 van de tijd van 12 s om een onkruid te bespuiten wordt gebruikt voor het positioneren van de robot arm.

Dit betekent niet dat mechanische oplossingen niet tot de mogelijkheden behoren. De bruikbaarheid hangt met name af van het aantal tulpenbollen wat daadwerkelijk verwijderd moet worden. Als dit aantal beperkt blijft, dan kan een robot die zich alleen bezig houdt met het verwijderen van door een andere applicatie gedetecteerde bollen een oplossing zijn. Dit vereist wel dat er een precieze plaatsbepaling plaats vindt zodat de verwijderrobot de tulpen die het betreft terug kan vinden. Dit betekent dat er van RTK-GPS (cm nauwkeurigheid) gebruik gemaakt moet worden. Hierbij is het ook belangrijk dat er voor gezorgd wordt dat de ziekzoekkar het correcte coördinaat van de tulp doorgeeft die verwijderd moet worden. De verwijderrobot moet wel de juiste tulp terug kunnen vinden. Deze robot heeft dan 'tijd' om rustig via een mechanische actie de bol te verwijderen en vervolgens zich naar de volgende opgegeven locatie te gaan en daar een volgende bol te verwijderen. Bij 1000 zieke tulpenbollen verspreid over 1 ha, 15 s om de bol te verwijderen, een gemiddelde rijsnelheid van 0.5 m/s, en 5000 m (50 bedden a 100 m lang) af te leggen in het veld, komt dit uit op 25000 s (6.9 uur). Op het moment dat de locaties waar een tulp verwijderd moet worden, vooraf bekend zijn, kan er een optimalisatie plaatsvinden ten aanzien van het terugzoeken van de te verwijderen tulpen.

Mogelijkheden voor het verwijderen van een bol uit de grond zijn:

- Uit de grond trekken via het loof; deze mogelijkheid hangt sterk af van de sterkte van het loof enerzijds en van de kracht die uitgeoefend moet worden om de bol uit de grond te trekken anderzijds. Dit is mede afhankelijk van hoe diep de bol in de grond zit en wat de condities van de bodem op dat moment zijn;
- Uitgraven, dit kan op verschillende manieren: (a) met behulp van een schepje, (b) een apparaat dat werkt op een manier die lijkt op waarmee ringmonsters gestoken worden, of (de bol komt met het 'ringmonster' uit de grond), (c) een grondboor (de bol wordt uit de grond opgeboord) of (d) een vork of prikstok die de bol uit de grond prikt;
- Uitboren – via een boor die de bol ingaat en deze vervolgens omhoog trekt;
- Uitfrozen – met behulp van een freeskop die de bol in de grond kapot freest. Het plantmateriaal blijft dan wel in de grond achter en dat kan mogelijk niet gewenst zijn omdat dan de ziektekiemen ook in de grond achterblijven. Dan valt deze oplossing af.

3.3.6 Doden van de bol

Een mogelijkheid om de bol te doden is de plant met glyfosaat of een vergelijkbaar middel te behandelen. Het middel trekt dan via de bladeren naar de bol en vanwege de systemische werking gaat ook de bol dood. De glyfosaat kan aangebracht worden met een precisiedop die enkele druppels precies af kan geven, zoals ontwikkeld is voor de bestrijding van aardappelopslag. Een andere mogelijkheid is om glyfosaat met een kwastje of een kleine spons op de plant aanbrengen. Afhankelijk van de snelheid waarmee gewerkt moet worden, kan dit ook een optie zijn. Naarmate de voorwaartse snelheid tijdens de bewerking groter wordt, neemt de mogelijkheid voor toepassing af. Het strijken met een sponsje of een kwastje is een mechanische handeling en dit wordt een probleem bij hoge snelheid en grotere verplaatsingen. Andere mogelijkheden om de bol te doden waar aan gedacht kan worden, zijn methoden die direct op de bol ingrijpen:

- Injectie van een vloeistof in de bol – de samenstelling van de vloeistof moet er dan voor zorgen dat de bol dood gaat, zonder dat dit natuurlijk schade toebrengt aan de grond;
- Thermische beschadiging van de bol – een pen die heet is of heet wordt, beschadigt het weefsel intern waardoor de bol afsterft.

3.4 Meerdere planten in beeld – Wat dan?

3.4.1 Inleiding

Van elke plant in beeld kan ook een coördinaat vastgelegd worden. Dit kan een globaal coördinatensysteem (WGS84, Rijksdriehoek, ...) zijn maar ook een lokaal (met een punt in de machine als nulpunt) coördinatensysteem. De plaats van het verwijdermechanisme kan ook in dat lokale coördinatensysteem vastgelegd worden. De Y-coördinaat (dwars op de rijrichting) van de plant in beeld is ook de Y coördinaat waar het verwijdermechanisme een actie moet ondernemen. In de X-richting zal er een verschil zijn in de X-coördinaat. Deze afstand gedeeld door de snelheid in de X-richting is de tijd die gewacht moet worden voordat het verwijdermechanisme een actie moet ondernemen. Deze tijd moet dan nog gecorrigeerd worden voor de valtijd van de druppel. Het is hierbij belangrijk dat de rijsnelheid constant is.

3.4.2 Markeren op basis van dGPS

Of markeren met dGPS mogelijk is, hangt af van de nauwkeurigheid die daarmee gerealiseerd kan worden, de nauwkeurigheid die vereist is, en ook hoe het systeem moet werken.

Voor dGPS wordt een nauwkeurigheid afgegeven van ongeveer 20 cm. Voor RTK-dGPS geldt een precisie in de orde van 1-2 cm maar is ook veel duurder. Welke nauwkeurigheid nodig is hangt af van de afstand die de bollen uit elkaar staan. Als de bollen bv 20 cm uit elkaar staan, en de nauwkeurigheid van de dGPS is ook 20 cm, dan kan het niet. Het zal dan te vaak fout gaan. Een nauwkeurigheid gelijk aan ongeveer de helft van de afstand tussen de bollen zal in het algemeen goed bruikbaar zijn. Dat betekent dat al vrij snel naar RTK-dGPS over gestapt moet worden.

Een en ander hangt ook af van de wijze hoe gewerkt wordt. Als de teler voldoende heeft aan een redelijk

precieze locatie van de bol (dGPS precisie), en dan deze zelf uiteindelijk ook identificeert, dan zou 20 cm ook voldoende kunnen zijn.

Voor een toepassing 'vanuit de hand' (d.w.z. iemand die met een GPS door het veld loopt), is RTK-dGPS niet zo geschikt omdat de antenne door een persoon niet erg stabiel door een veld verplaatst kan worden. Voor toepassing met RTK GPS moet dan gedacht worden aan een karretje waarop de GPS is gemonteerd. De karretje is dan voorzien van een systeem dat de coördinaten weet van de tulpen die verwijderd moeten worden en dat de teler door middel van signalen leidt naar de plaatsen waar tulpen verwijderd moeten worden door ze uiteindelijk bijvoorbeeld via een laser pointer of een ander mechanisme aan te wijzen.

4 Conclusie en discussie

De tabel hieronder geeft een samenvatting van de verschillende mogelijkheden voor het verwijderen van zieke tulpenbollen.

Principe	Methode	Uitvoering
Direct	Mechanisch	De bol uit de grond trekken via het loof
		De bol uit de grond steken m.b.v. van een ring
		De bol uit de grond boren
		De bol in de grond kapot frezen
	Chemisch	Intern beschadigen via een chemisch middel
Thermisch	Intern beschadigen van de bol via een hitte behandeling	
Indirect	Mechanisch	Loof (herhaaldelijk) afsnijden
	Chemisch	Behandelen met precies toegediend systemisch middel zodat alleen de geselecteerde plant inclusief bol doodgaat
		<ul style="list-style-type: none"> - Druppels - Strijken (kwastje, spons)
	Thermisch	Plant m.b.v. van laser doden of ernstig beschadigen
Met een brander het loof beschadigen of doden		

De ontwikkeling van de ziekzoekkar zal gefaseerd verder gaan. De focus zal in eerste instantie op de detectie gericht zijn. Markeren met een merker ligt dan voor de hand. Dan kan handmatige selectie plaatsvinden. Technieken die technisch en economisch haalbaar blijken en een goede effectiviteit hebben (goede afdoding) zullen echter de handmatige activiteit gaan verdringen.

5 Literatuur

- Jeon, H. Y. (2008) Plant specific direct chemical application field robot. Department of Agricultural Engineering. Urbana, IL, University of Illinois at Urbana-Champaign. PhD: 128pp.
- Jeon, H. Y., L. F. Tian and H. Zhu (2011) Robust crop and weed segmentation under uncontrolled outdoor illumination. Sensors 11(6):6270-6283.
- Marx, C., S. Barcikowski, M. Hustedt, H. Haferkamp and T. Rath (2012) Design and application of a weed damage model for laser-based weed control. Biosystems Engineering 113(2):148-157.
- Nieuwenhuizen, A. T. (2009) Automated detection and control of volunteer potato plants. Farm Technology Group. Wageningen, Wageningen University. PhD: 177pp.
- Orca Photonic Systems, I. Retrieved 26-09-2012, from www.laser-cutting.com.
- Tuijl, B. A. J. v. (WUR Glastuinbouw) Ziekzoeken in tulp, verwijder methoden: 5.

Bijlage 1 Plaatsspecifiek verwijderen aardappelopslag



Plaatsspecifiek verwijderen aardappelopslag

Thema: *Phytophthora infestans*

BO-06-008-001.03

Probleem

Aardappelopslag is een belangrijke bron van verspreiding van *Phytophthora infestans* omdat:

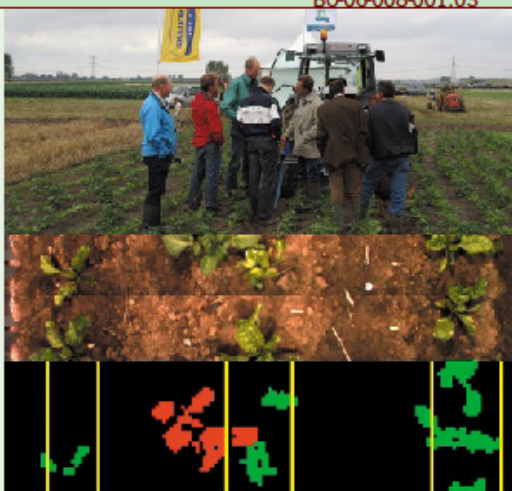
- De aardappelopslagplanten niet preventief en curatief worden bespoten met fungiciden
- Opslag bestrijden arbeidsintensief en dus kostbaar is
- Geen werktuigen beschikbaar zijn die in de gewasrij aardappelopslag automatisch verwijderen

Onderzoek

Een automatische methode voor het herkennen en verwijderen van aardappelopslagplanten is gewenst en wordt ontwikkeld.

- Herkennen van aardappelopslagplanten met beeldverwerking van kleuren- en nabij-infrarood beelden
- Verwijderen van planten door plantspecifiek gericht individuele druppels bestrijdingsmiddel aan te brengen met een innovatieve spuittechniek
- Integratie van herkennen en verwijderen in een prototype werktuig

In verschillende proefvelden zijn beeldverwerkingsmetingen verricht en is het eerste prototype uitgetest.



Resultaten

- Microsprayer is succesvol gekoppeld aan beeldverwerking
- Beeldherkenning en microsprayer werken real-time bij 3 km/h in de veldsituatie
- 1.2 mg actieve stof (glyfosaat in gel) per plant is voldoende om aardappelopslag dood te maken met microsprayer
- Plaatsing druppels door microsprayer op planten is nauwkeurig op ± 10 mm, elk blaadje kan geraakt worden
- Hoogtemeting van aardappelopslag geïmplementeerd en gekoppeld aan spuitactie
- Demonstratie van prototype op de Aardappeldemodag in Westmaas

Praktijk

- Reductie arbeidskosten door automatische bestrijding aardappelopslag in de rij
- Meer en betere aardappelopslagbestrijding en daardoor een lagere ziektedruk van *P. infestans*
- Contacten met geïnteresseerde bedrijven voor doorontwikkelen prototype tot practijkmachine

Jan Willem Hofstee, Ard Nieuwenhuizen, Jan van de Zande & Eldert van Henten

Contact: Jan Willem Hofstee
Wageningen Universiteit
Postbus 17, 6700 AA Wageningen
T 0317 48 41 94 - F 0317 48 48 19
janwillem.hofstee@wur.nl - www.wageningenuniversiteit.nl

*Dit project is onderdeel van BOprogramma
Plantgezondheid van het Ministerie van LNV
en wordt mede gefinancierd door de Technologiestichting STW*