PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

# Ontwikkeling van een autonome precisiespuit voor de aardbeienteelt in de volle grond

## Ontwerp, bouw, validatie en demonstratie van een prototype

C. Kempenaar[1], J-M. Michielsen[1], A. Nieuwenhuizen[1], H. Slabbekoorn[2], J. van de Zande[1], A. Evenhuis[2], G.B.M. van den Bosch[3] & W. Molhoek[3]

1 Plant Research International, Business Unit Agrosysteemkunde
2 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten
3 Plant Research International, Business Unit Bio-interacties en Plantgezondheid

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde
December 2013

Rapport 540

© 2013 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. 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 Plant Research International, Agrosysteemkunde

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

In dit rapport worden de resultaten van onderzoek beschreven dat uitgevoerd in opdracht van een publiek-private samenwerking (PPS) van aardbeientelers, toeleverende bedrijven, Wageningen UR en de Nederlandse overheid. Het onderzoek werd financieel ondersteund met R&D middelen uit Programma Precisielandbouw (www.pplnl.nl, Ministerie van EZ en bedrijfsleven) en het Productschap Tuinbouw. Een deel van de hardware (onderdelen van de spuit) werd gefinancierd vanuit het KRW-programma 'Innovaties in het kwadraat' van het Ministerie van I&M. De overige financiering werd opgebracht door de betrokken telers, Homburg Holland en Wageningen UR – Plant Research International (PRI).










Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde

Address : Postbus 616, 6700 AP Wageningen, Nederland
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : +31 317 48 04 98
Fax : +31 317 48 10 47
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl, www.precisielandbouw.eu

# Inhoudsopgave

pagina


Inhoudsopgave iii

Samenvatting v

1. Inleiding 7

2. Resultaten Fase 1 en 2: Ontwerp en bouw prototype 9

2.1 Praktijkeisen en specificaties 9
2.2 Autonome tractor 11
2.2.1 Motor 11
2.2.2 Transmissie en rijpedaal 11
2.2.3 Afmetingen 13
2.2.4 Vooras 13
2.2.5 Banden en bodemverdichting 14
2.2.6 Cabine 15
2.2.7 Aftakas en hydrauliek 16
2.2.8 GPS en veiligheidsvoorzieningen 16
2.3 Autonoom rijden van de tractor 19
2.3.1 Opstarten computersysteem en veiligheidssysteem 19
2.3.2 Een nieuw perceel aanmaken: 19
2.3.3 Spuitbanen perceel aanmaken: 20
2.3.4 Het uitvoeren van een bespuiting in een 'bekend' perceel 21
2.4 Testresultaten autonoom navigatiesysteem 22
2.4.1 Test veiligheidssysteem 22
2.4.2 Test hardware in the loop 22
2.4.3 Test functionaliteit 23
2.5 Sensorgestuurde spuit: SensiSpray Horti 23
2.6 Doseeralgoritmen (concepten 2012 en 2013) 25

3. Resultaten Fase 3: Experimenten 2012 en 2013 26

3.1 Autonome navigatie 26
3.1.1 Stand van zaken eind 2012 26
3.1.2 Aanpassing 26
3.1.3 Hardware 26
3.1.4 Software – 'Teach and playback' techniek 27
3.1.5 Doseerkaarten via Akkerweb 28
3.1.6 Stand van zaken maart 2013 30
3.1.7 Conclusies 32
3.2 Effectiviteitstoetsing 32
3.2.1 Uitvoering 32
3.2.2 Resultaten 35
3.2.3 Discussie 39

3.3 Depositiemetingen 40
3.3.1 Uitvoering 40
3.3.2 bespuiting 41
3.3.3 Resultaten 43
3.3.4 Conclusies 45

4. Resultaten Fase 4: Praktijktoetsing en demonstratie van prototype 47

4.1 Praktijktoetsing 47
4.1.1 Proefobjecten 48
4.1.2 Bloembeoordeling 48
4.2 Resultaat 49
4.2.1 Bloembeoordelingen 49
4.3 Discussie en conclusies 52
4.4 Kennisverspreiding 53
4.4.1 Presentatie tijdens Aardbeiendemodagen 53
4.4.2 Presentatie tijdens PotatoEurope 53
4.4.3 Publicaties en filmmateriaal 54

5. Conclusie en aanbevelingen 55

# Samenvatting

In dit rapport worden de eerste fasen van de ontwikkeling van een autonome precisiespuit in de aardebeienteelt beschreven. Dit traject is een initiatief van een groep aardbeientelers in West Brabant, Homburg Holland uit Stiens en Wageningen UR – PRI, om te komen tot een systeem waarmee autonoom gewasbeschermingsmiddelen op een zo nauwkeurig mogelijke manier toegediend kunnen worden in aardbeien. De partners in deze publiek private samenwerking hebben hiertoe een ontwikkeltraject opgezet waarin vier fasen onderscheiden worden: ontwerp, bouw, testen en aanpassen, en demonstreren van de autonome spuit. Het initiatief is gestart in 2009 en het samenwerkingscontract loopt door tot en met 2014.

Op grond van praktijkeisen is gekozen voor een kleine New Holland landbouwtrekker van 50 pk (type Boomer) als basis voor het eerste prototype van de autonome precisiespuit. De tractor heeft een traploze transmissie en de aftakas wordt elektrisch geschakeld. De tractor is voorzien van een routeplanning- en navigatiesysteem van het bedrijf Tyker Technology. De Boomer tractor is voorzien van een 'Teach & Playback' systeem en verschillende onderdelen voor het meten en aansturen van de tractor zijn vervangen en/of aangepast. Dit heeft ertoe geleid dat de tractor nauwkeurig een route kan afleggen nadat deze in de 'teach modus' is ingeleerd. In de autonome modus is de tractor voldoende nauwkeurigheid voor toepassing in o.a. de aardbeienteelt.

Voor het variabel kunnen doseren van middel is gekozen voor de SensiSpray Horti, een sensor gestuurde precisiespuit met luchtondersteuning van Homburg Holland en Probotiq. Op basis van door PRI ontwikkelde doseeralgoritmen voor variabel doseren op basis van gemeten variatie in gewasbiomassa stuurt de computer, afhankelijk van het inkomende signaal van de sensoren (en de rijsnelheid) de spuitdoppen aan om een bepaalde hoeveelheid vloeistof uit te brengen. Het eerste prototype van de autonoom rijdende tractor in combinatie met de precisiespuit is in 2012 getest onder praktijkomstandigheden.

In 2012 en 2013 is de effectiviteit van variabel doseren met de SensiSpray Horti getest op twee praktijkbedrijven in West Brabant door deze te vergelijken met standaard praktijkbespuitingen. De proefbespuitingen, ongeacht de techniek, gaven significant minder *Botrytis* aantasting ten opzichte van onbehandelde planten. Het SensiSpray Horti en het standaard praktijk systeem gaven beiden een goede mate van bestrijding van *Botrytis*. Mogelijk als gevolg van de relatief lage natuurlijke ziektedruk gedurende beide seizoenen, kon een verschil in effectiviteit tussen de verschillende spuittechnieken niet eenduidig worden vastgesteld.

Aan het begin van de groeiperiode van de aardbeiplanten werd met variabel doseren een besparing op middelverbruik gerealiseerd van meer dan 50% ten opzichte van de standaard dosering. Bij een volgroeid gewas was de besparing 23-15%. Worden de gerealiseerde reducties in spuitvolume vertaald naar de potentiële reductie in middelgebruik over het hele groeiseizoen van aardbeien dan is een reductie in middelgebruik van 50% haalbaar. In de praktijkproef 2013 was de gemiddelde reductie 64%. Deze substantiële reducties in middelgebruik dragen bij aan het verminderen van de uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Ook wordt bij goede afstelling de kans op residu op het te oogsten product verkleind.

De resultaten uit dit project tonen aan dat het technisch mogelijk is om een tractor autonoom te laten rijden in combinatie met een sensor gestuurde spuitmachine waarmee variabel gedoseerd kan worden. Het prototype kan een vooraf geprogrammeerde route en spuitacties uitvoeren op een perceel aardbeien, waarbij de nauwkeurigheid van navigatie binnen 4 cm ligt. Bij een rijsnelheid van gemiddeld 5 km per uur is de capaciteit ca. 2 ha per uur. Aangetoond werd ook dat het prototype binnen het bedrijf vanaf het erf naar het perceel kan rijden en terug. Het prototype werd vervolgens bij diverse manifestaties gedemonstreerd. Wel is een bediener op afstand nodig die met een afstandsbediening kan ingrijpen als nodig. Stakeholders hebben aangegeven dat het prototype perspectief biedt voor grootschalige toepassing in de aardbeienteelt en eventuele andere teelten. Zij willen dan ook verder met de ontwikkeling van autonome gewasbescherming. Uitdagingen zijn om meer veiligheidsgaranties in te bouwen en de capaciteit te

vegroten zonder dat dit meer bodemdruk levert a.g.v. een zwaardere machine. Wat dat betreft zou een volgende versie eerdere kleiner en lichter mogen zijn dan groter en zwaarder.

De ontwikkeling van het prototype is mogelijk gemaakt met investeringen van de partners en subsidie vanuit drie verschillende bronnen. De subsidiegevers waren Productschap Tuinbouw (PT), Programma Precisielandbouw (PPL) van Ministerie van EZ en bedrijfsleven, en het KRW-programma van Ministerie van I&M.

# 1. Inleiding

Autonome navigatie staat volop in de belangstelling van telers en toeleverende bedrijven in de land- en tuinbouw. Met de komst van positiebepaling technieken als GPS RTK kunnen tractors nu al min of meer autonoom recht rijden op vooraf geplande lijnen op het perceel. Afwijkingen van de baan zijn hooguit enkele centimeters. Een chauffeur moet nog wel op de tractor zitten voor het behouden van overzicht, veiligheid en het navigeren naar de volgende baan.

Volledige autonome navigatie van tractors en het autonoom uitvoeren van teeltmaatregelen op een perceel is een volgende stap. Technisch gezien is hier ook al één en ander mogelijk, zie bijvoorbeeld onkruidrobot Ruud die autonoom over een grasland kan navigeren en daar zuringplanten detecteert en bestrijdt (www.precisielandbouw.eu). Het voordeel hier is dat robot Ruud over het gewas (gras) mag rijden en dus geen rekening hoeft te houden met waar gewasplanten staan. In gewassen met een gewasrijstructuur, waarbij de machine precies langs de gewasplanten moet navigeren om de teeltmaatregelen uit te voeren, is nog veel te ontwikkelen. Een aantal basistechnieken is beschikbaar, maar slimme combinatie en integratie in werkende prototypes is hier nu aan de orde. In dit verslag wordt de ontwikkeling van een autonome tractor met een precisiespuit voor gebruik in de aardbeienteelt beschreven. De resultaten zullen bij succes zondermeer ook toepasbaar zijn in andere open teelten.

Het initiatief voor de autonome aardbeienspuit komt vanuit een groep aardbeientelers in West Brabant, Homburg Holland en Wageningen UR - PRI. De telers hebben in 2008 hun wens bij PRI toegelicht om een machine te ontwikkelen die autonoom kan spuiten èn die minder druk op de bodem geeft dan thans gangbare spuiten. Telers zijn nu per teelt relatief veel tijd kwijt aan het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen. Een autonome spuit maakt het mogelijk dat ze meer tijd voor andere zaken in het drukke seizoen overhouden. Met een lichtere spuit kan gezorgd worden voor minder bodemdruk en insporing in de spuitpaden waardoor structuurbederf van bodem verminderd en het plukken van de aardbeien minder geremd wordt. De telers gaven hierbij aan dat niet (te veel) ingeboet mag worden op capaciteit en effectiviteit bij de inzet van de autonome spuit.

De telers, Homburg Holland en Wageningen UR - PRI/PPO hebben in 2009 een consortium opgericht met als doel een autonome aardbeienspuit op te leveren voor 2015. Zij hebben een samenwerkingsproject geformuleerd met de volgende stappen:

1. Ontwerp van de autonome spuit;
2. Bouw van het eerste prototype;
3. Testen van het prototype en eventuele aanpassingen;
4. Demonstreren en opleveren van een nul-versie van de autonome spuit.

In 2009 werd gestart met het maken van een plan van eisen. De voortgang en opties zijn daarna regelmatig besproken met de consortiumleden plus een tweetal adviseurs van LTO groeiservice en DLV Plant. In 2010 werd begonnen met de bouw van het prototype. In dat jaar zijn de telers initiatiefnemer geworden van het Programma Precisielandbouw (PPL). De telers hebben hun maatwerkproject in de 2$^{e}$ tranche van PPL gericht op de bouw van het autonome voertuig. De bouw van de spuittechniek werd in 2010 en 2011 voor een groot deel vanuit het KRW-project 'Innovaties in het kwadraat'. Gekozen is om de SensiSpray Horti spuittechniek voor variabel doseren van middel op basis van verschillen in gewasbiomassa te werken in combinatie met een te ontwikkelen autonome tractor. Vanaf 2011 werden de eerste testen met onderdelen van de autonome spuit gedaan. De eerste echte veldtoets vond plaats in 2012. Er zijn toen aansluitend een tweetal effectiviteitsproeven en een eerste praktijktoets gedaan. In 2013 heeft een verdere en meer gerichte beproeving plaatsgevonden. Er werden in 2013 een praktijktoets en een effectiviteitsproef uitgevoerd. In dat jaar werden ook een aantal demonstraties uitgevoerd voor geïnteresseerden op open dagen en beurzen. En werd er gepubliceerd over de resultaten in vakbladen en op internet.

Leeswijzer:
In dit rapport wordt de ontwikkeling en de bouw van een prototype van een autonome aardbeispuit beschreven. Hoofdstuk 2. Aan de hand van praktische eisen en specificaties worden de belangrijkste onderdelen van het systeem beschreven zoals de tractor, het GPS systeem en de SensiSpray Horti. Ook worden in dit hoofdstuk de resultaten

van de eerste functionele testen met de autonome spuit beschreven. Het gaat hierbij met name om het autonoom laten rijden van de tractor met spuitsysteem en het functioneren van de navigatie en diverse veiligheidssystemen.
In Hoofdstuk 3 worden aanpassingen op basis van de eerste proeven met het prototype beschreven. Ook de eerste effectiviteitsproeven worden in dat hoofdstuk beschreven. Hierbij is de effectiviteit van de bespuiting en de gerealiseerde reductie in middelverbruik beoordeeld na behandeling met de sensor gestuurde SensiSpray Horti ten opzichte van een standaard bespuiting. In maart 2013 werd geconcludeerd dat het prototype naar tevredenheid functioneerde. Er was vanaf dat moment een autonoom rijdende tractor plus spuitsysteem beschikbaar dat voldeed veel van de vooraf gestelde eisen.
In hoofdstuk 4 wordt de validatie van het prototype onder praktijkomstandigheden beschreven. Beschreven worden de ervaringen van de betrokken teler, teeltresultaten en de effecten van de effectiviteitbeoordeling. In dat hoofdstuk wordt ook de kennisdoorstroming beschreven.
Tenslotte worden in Hoofdstuk 5 de belangrijkste conclusies samengevat.

# 2. Resultaten Fase 1 en 2: Ontwerp en bouw prototype

## 2.1 Praktijkeisen en specificaties

Het prototype autonome precisiespuit voor in de aardbeienteelt bestaat uit een tractor met opgebouwde SensiSpray Horti spuit. Gekozen is voor een tractor omdat deze qua performance in het veld betrouwbaar zal zijn, immers alle onderdelen zijn gedimensioneerd voor gebruik onder agrarische omstandigheden. De onderliggende eisen waaraan de autonome precisiespuit moet voldoen zijn hieronder uitgelegd.

Vanuit de praktijk zijn eisen gesteld waaraan het autonome voertuig moet voldoen. Deze eisen zijn onder te verdelen in vaste eisen en variabele eisen. Om de doelstellingen te behalen kunnen aan de vaste eisen geen concessies gedaan worden. De vaste eisen zijn:

- Vervangen bestuurder tijdens bespuiten van aardbeien, het voertuig moet autonoom rijden
- Handmatige bediening voor transport via de weg dient mogelijk te zijn
- Gebruik machine wettelijk toegestaan i.v.m. verzekering
- Noodknop aan de buitenzijde i.v.m. wetgeving en verzekering
- Capaciteit vergelijkbaar met huidige spuitmachines
- Binnen de spuitbare uren dient het spuitwerk te worden uitgevoerd; wel mag de spuitmachine er langer over doen
- Toepassing mogelijk onder nagenoeg alle weers- en bodemomstandigheden
- Lagere wieldruk en bodemdruk dan conventioneel
- Landbouwkundig resultaat moet vergelijkbaar met huidige praktijk met luchtondersteuning
- De robot informeert de gebruiker wanneer gestopt vanwege veiligheid of taak gereed
- De robot informeert de gebruiker op verzoek over de status, controle op afstand
- Ruimte om te keren op de kopakker: 3 - 5 m
- Spuiten op basis van biomassa op basis van vegetatie-index
- GPS/RTK- nauwkeurigheid (2 cm) is vereist
- Toepasbaar voor alle typen middelen
- Eenvoudiger dan huidige spuitapparatuur
- Spuitdoppen mogen niet verstoppen
- Bedrijfszeker

De variabele eisen zijn:

- Snelheid mogelijk tot 10 km/uur
- Jaarkosten zodanig dat introductie in praktijk interessant is
- Gebruiksvriendelijk ‘teach and replay’ functionaliteit
- Routeplanning door perceel mogelijk (i.v.m. tankvulling)
- Hoeveelheid spuitvloeistof richting 50 l/ha (in huidige situatie 300 l/ha)
- Machine geluidsarm en geen lichthinder veroorzakend
- Mobiel vulpunt op percelen waar wordt gespoten
- Door meerdere personen te bedienen zijn
- Bespuitingen dienen een minimale drift te veroorzaken
- Bescherming van grond- en oppervlaktewater
- Nadruk op toepassing in de rij
- Uitbreiding naar aparte plantbehandeling in de toekomst

Naar aanleiding van de vaste en variabele eisen zijn specificaties opgesteld waaraan het voertuig moet voldoen. Bij het opstellen van de specificaties is rekening gehouden met de eisen die gesteld zijn voor het opbouwen van de benodigde hardware en software voor het autonoom laten rijden over het veld en het uitvoeren van de bespuitingen.

- Benodigd vermogen +/- 40 pk. Dit vermogen is nodig voor het voortbewegen en het spuiten. Het spuiten is onder te verdelen in het benodigd vermogen voor het aandrijven van de pomp en benodigd hydraulisch vermogen voor het aandrijven van de ventilator.
- Hefvermogen voor spuitboom 500 kg. Dit gewicht bestaat uit de boomconstructie met de leidingen en doppen en de opbouw van de luchtondersteuning. De luchtondersteuning bestaat uit een hydraulisch aangedreven ventilator en de luchtzak.
- Hefvermogen voor tank 750 kg. Indien er een voorkeur is voor een voertuig maar het hefvermogen van het voertuig is ontoereikend voor de spuitmachine, dan kan er gekozen worden voor een vaste aanbouw aan het voertuig. De tank hoeft niet per definitie in de driepuntshefinrichting maar kan ook op een andere plaats gebouwd worden. Dit zou voor een betere gewichtsverdeling ook aan de zijkant naast de motor kunnen zijn.
- Sturing door middel van orbitrol in verband met elektronische bediening. Door het plaatsen van een elektronische stuurschuif tussen de orbitrol en de stuurcilinders wordt het sturen automatische geregeld.
- Snelheid en rijrichting hydraulisch te regelen in verband met ombouw naar elektronische bediening. De hydraulische bediening wordt elektronisch aangestuurd. Deze aansturing kan overgenomen voor het autonoom laten rijden.

Binnen de eisen en specificaties is ruimte om een keuze te maken tussen een “standaard” tractor en een werktuigendrager. De voor- en nadelen van beide voertuigen zijn onderstaand op een rij gezet:

1. Hydraulisch aangedreven tractor (prijs circa € 25.000,-).
    + multi inzetbaar; de tractor kan voor diverse werkzaamheden ingezet worden. Wanneer er niet gespoten wordt kan de spuit losgekoppeld worden en ingezet worden voor bijvoorbeeld autonoom transport van het geoogste product.
    + aftakas en hydrauliek standaard beschikbaar. Standaard wordt een tractor afgeleverd met aftakas, driepuntshefinrichting en hydraulische aansluitingen.
    + eenvoudig overzetten SensiSpray. Een SensiSpray Horti is standaard gebouwd voor aankoppeling aan een tractor.
    + behoud zijn marktwaarde. Indien om wat voor reden dan ook het project stop gezet wordt of de tractor/spuitcombinatie voldoet toch niet aan de wens of eis van de telers waardoor deze niet overgenomen wordt door een teler dan kan de tractor volgens de normale marktwaarde voor gebruikte tractors verkocht worden.
    - gewichtsverdeling, tenzij fronthefinrichting voor spuittank. Wanneer zowel de tank als de spuitboom met luchtondersteuning in de driepuntshefinrichting wordt gehangen en de tank vol met vloeistof zit, dan zal de tractor niet kunnen rijden zonder frontgewichten.
    - relatief duur vanwege comfort voor bestuurder. Over het algemeen is een tractor uit deze vermogensklasse ook uitgerust met een cabine. Een compact tractor zonder cabine maar met een bestuurdersplatform is lichter, mogelijk goedkoper maar zal bij een eventuele verkoop minder aantrekkelijk zijn dan een tractor met cabine.

2. Hydraulisch aangedreven werktuigdrager. Een werktuigendrager wordt, over het algemeen, gebruikt voor het verplegingswerk in tuinbouw/vollegronds groenteteelt. Het is vaak een ‘open’ frame met achterop een verbrandingsmotor. Werktuigendragers zijn (vaak) hydraulisch aangedreven. Er zijn standaard werktuigendragers op de markt. Andere werktuigendragers worden gebouwd naar aanleiding van de werkzaamheden en wensen van de klant. Prijzen voor een standaard werktuigendrager kunnen uiteenlopen van 35000 tot 75000 euro voor een uitvoering met een 74 kW motor en vierwielaandrijving.
    + geschikt voor opbouw lichte werktuigen in hefinrichting. Er zijn zowel aanbouwmogelijkheden achterop als in het frame in het midden van de tractor. In het midden is dan evenals achterop ook een driepuntshefinrichting aanwezig. Omdat de motor van een werktuigendrager boven de achteras is gemonteerd, rust er in verhouding weinig gewicht op de vooras. Als er een werktuig in de hefinrichting achter wordt gehangen, wordt de tractor al snel aan de voorwielen te licht.

+ lichter dan tractor. Door het 'open' frame en het vaak ontbreken van enige vorm van luxe kan een werktuigendrager lichter zijn dan een 'gewone' tractor. Een werktuigendrager van het merk Mazzotti is weer zwaarder dan een tractor. Omdat werktuigendragers vaak aangepast worden aan de werkzaamheden en wensen van de klant is het gewicht zeer divers.
+ hydrauliek beschikbaar. Naast de hydraulische besturing en hydraulische aandrijving zijn hydraulische functies beschikbaar.
+ makkelijk naar specificaties vanuit het project aan te passen. Door de 'open' constructie en de hydraulische rijaandrijving zijn werktuigendragers vaak eenvoudig klant specifiek te maken.
- aftakas niet standaard. Een werktuigendrager is 'standaard' niet altijd uitgerust met een aftakas zoals bij een tractor. Als er een gemonteerd wordt, kan deze een hydraulisch aangedreven zijn.

## 2.2 Autonome tractor

Na diverse afwegingen is de keuze gemaakt voor het model 3050 uit de compacte tractorreeks Boomer van het merk New Holland. Deze tractor heeft een traploze transmissie en de aftakas wordt elektrisch geschakeld.
De aanwezige elektrische schakelingen en de verkoopwaarde als gebruikte tractor hebben een belangrijke rol gespeeld (Figuur 1). Door participant Hardi is een SensiSpray Horti spuit met luchtondersteuning ingebracht in het project (Figuur 1). De Hardi SensiSpray Horti heeft een werkbreedte van 4.5 meter en een tankinhoud van 400 liter.



*Figuur 1. Combinatie van New Holland Boomer 3050 met Hardi spuit met luchtondersteuning.*

### 2.2.1 Motor

De motor van de Boomer 3050 is een 2200 $cm^3$ viercilindermotor (2 kleppen per cilinder) met natuurlijke aanzuiging en voldoet aan de Tier III norm. Het nominaal vermogen (ISO TR14396 - ECE R120) is 37,3 kW (51 pk) met een nominaal motortoerental van 2800 toeren per minuut en een maximum koppel (ISO TR14396) van 142 Nm (@ 1800 toeren).

### 2.2.2 Transmissie en rijpedaal

De SUPERSPEED™ Continue Variabele Transmissie is een traploze transmissie die werkt met een kettingvariator. Na keuze van de rijrichting met de powershuttle links onder het stuur trapt de bestuurder het rijpedaal (Figuur 2) in. De tractor zoekt aan de hand van de gekozen rijsnelheid en de gevraagde trekkracht het optimale toerental van de motor. Met de knop voor de cruise control (Figuur 3) kan de snelheid vastgezet worden. Binnen de CVT kan gekozen

worden uit drie groepen: in de eerste groep ligt het snelheidsbereik tussen 0 en 9 km/h, in de tweede groep tussen 0 en 18 km/h en de derde groep heeft een bereik van 0 tot 35 km/h. Des te hoger de groep, des te hoger is het snelheidsbereik waarbij ook de stand van het rijpedaal steeds gevoeliger wordt.

Bij het autonoom over het veld laten rijden van het voertuig wordt met een vast motortoerental gedurende de gehele activiteit gewerkt (motor: 2500 toeren/min; aftakas: 540 toeren/min). Dit vaste toerental wordt ingesteld met het handel van het handgas en wordt ingesteld voordat de start wordt gegeven voor het autonoom laten rijden.

De rijsnelheid wordt bepaald door de stand van het rijpedaal en wordt elektronisch gestuurd. Vlak voor het bereiken van de kopakker wordt de rijsnelheid teruggenomen om te kunnen draaien. Zodra de tractor weer in het juiste spoor staat en verder gaat met de spuitactiviteit wordt de snelheid weer verhoogd (het rijpedaal ingedrukt).



*Figuur 2. Rijpedaal van de New Holland Boomer 3050.*



*Figuur 3. Cruise Control om de gekozen rijsnelheid vast te kunnen zetten.*

### 2.2.3 Afmetingen

De tractor is o.a. gekozen voor de compacte afmetingen. In Tabel 1 worden de afmetingen, gewichten en overige specificaties weergegeven.

*Tabel 1. Afmetingen van de New Holland Boomer 3050; bron: brochure New Holland.*

| Omschrijving | |
|---|---|
| Optimale draaistraal 4WD vooras (mm) | 3099 |
| Wielbasis 4WD | 1867 |
| Totale lengte 4WD standaard vooras (mm) | 3098 |
| Minimale algemene breedte landbouwbanden (mm) | 1687 |
| Hoogte tot bovenkant cabine (mm) | 2304 |
| Hoogte vanaf het midden van de achteras tot dak van de cabine (mm) | 1726 |
| Bodemvrijheid minimum standaard vooras (mm) | 318 |
| Spoorinstelling vooraan 4WD (mm) | 1204 |
| Spoorinstelling achteraan (mm) | 1309 of 1712 |
| Minimaal gewicht met cabine (kg) | 1673 |
| Maximaal getrokken massa (kg) | 2500 |
| Maximaal toelaatbaar gewicht (kg) | 3200 |
| Bandmaat voor | 8x16 |
| Bandmaat achter | 14.9x24 |

### 2.2.4 Vooras

De tractor beschikt over een standaard vooras met een vast pendelpunt. Er is een stuuruitslag van 54 graden waarmee een draaicirkel bereikt kan worden van 6,2 meter. Een nog kleinere draaicirkel kan bereikt worden wanneer de tractor met SuperSteer™ was uitgerust. Dan is een draaicirkel van 5,6 meter mogelijk. De besturing geschiedt elektrisch hydraulisch. Voor het bepalen van de stuuruitslag is een stuurhoeksensor op de vooras van de tractor geplaatst (Figuur 4). Op het frame aan de zijkant van de motor is een begrenzing waarmee de maximale stuuruitslag wordt bepaald. Om de vooras te sturen is tussen de cilinders en de orbitrol een proportionele stuurschuif gemonteerd.



*Figuur 4. Stuurinrichting van de tractor met de opgebouwde stuurhoeksensor.*

### 2.2.5 Banden en bodemverdichting

De tractor heeft een eigen gewicht van 1673 kg (opgave fabrikant) en heeft een maximaal toelaatbaar gewicht van 3200 kg. Er mag dus een gewicht aangehangen worden van 1525 kg. De Hardi SensiSpray Horti bestaat uit een frame met daarin de pomp, de tank, het kranen en leidingenwerk en achter de tank de spuitboom met unit voor luchtondersteuning. De tractor is uitgerust met Kleber Traker 320/85R32 banden op de achteras. De tractor en spuit wegen totaal 3000 kg bij een half gevulde tank (200 liter). In Tabel 2 staan de gewichten op de voor en achteras en de bandspanningen, de grote van het contactoppervlak van de achterbanden van de tractor en de bodemdruk behorende bij de achterbanden.

Op de vooras van de tractor rust 600 kg bij een half gevulde tank (200 liter). De voorbanden (merk: BKT AgriMax, maat: 280/70R18) mogen bij een bandspanning van 50 kPa en een rijsnelheid van 40 en 50 km/h, een gewicht van 555 kg per band dragen. Bij 30 km/h is dit 595 kg per band. Bij een lege tank is de belasting van de vooras het hoogst. Het draagvermogen van de gemonteerde banden is, ook bij een lege tank van de spuitmachine, ruim voldoende om met een lage bandspanning te kunnen rijden. Ook wanneer met de tractor met een hoge rijsnelheid over de weg wordt gereden.

De ‘standaard’ in de aardbeienteelt gebruikte (zelfrijdende) spuitmachines hebben werkbreedten van 21 tot 27 meter. Bij de beperkte werkbreedte van 4,5 meter van de spuit achter de New Holland Boomer is het bereden oppervlak, in vergelijking tot de conventionele spuitmachines 4,6 tot 6 keer zo groot. Tijdens het spuitseizoen wordt veel gespoten in de aardbeienteelt en daardoor dus ook vaak door hetzelfde spoor gereden. Een eis vanuit de praktijk is dat het gebruik van het autonome voertuig bodemvriendelijker is dan bij conventionele spuiten. Of de wieldruk en bodemdruk lager is dan conventioneel hangt uiteraard af van welke bij conventioneel aanwezig is. Daarnaast dienen de volgende opmerkingen gemaakt te worden:

- Insporing hangt niet alleen af van de bodemdruk van de machine, maar ook van de conditie van de onbereden grond (vast of los), de natheid tijdens berijden en het aantal keer dat er overheen gereden wordt. Als de grond extreem los is zal een reductie van 50% aan insporing (ten opzichte van een insporing bij conventioneel) niet gehaald worden (bijvoorbeeld 9,5 cm insporing in plaats van 10 cm insporing). Als de grond vrij vast is, wordt de reductie misschien makkelijk gehaald (bijv. 5 cm insporing in plaats van 10 cm). Wat een reële reductie is, is dus ook sterk afhankelijk van de conditie van de grond.
- Als de gemiddelde bodemdruk laag is en er is een evenwicht ontstaan tussen de bodemdruk en bodemconditie, dan zal verdere verdichting, bodemvervorming en/of insporing niet toenemen.
- Om de bodemdruk te bepalen cq. te verlagen moet gekeken worden naar de wiellasten en daarbij moet een band uitgezocht worden met een zo groot mogelijk contactvlak bodem-grond. In de vergelijking tussen een tractor en de VSS werktuigdrager zal de wiellast van de VSS werktuigdrager lager zijn en dus gunstiger voor de bodemdruk. Tegelijkertijd zijn de diameter van de band en de bandbreedte bij de VSS werktuigendrager veel kleiner (zeker vergeleken met de rupsen), waardoor de verlaging van het gewicht weer teniet gedaan wordt
- Een absolute lage bodemdruk kan bereikt worden wanneer de keuze wordt gemaakt voor de VSS werktuigendrager. De VSS zou dan uitgerust moeten worden met banden die een veel grotere diameter hebben dan nu geleverd wordt en met ten minste dezelfde bandbreedte dan de banden die gemonteerd zijn onder een vergelijkbare tractor. Bij de werktuigendrager zou dan de spuitmachine gesplitst moeten worden in een frame met de tank en het frame met de spuitbomen. Bij een autonoom voertuig kan de tank gebouwd worden op de meest gunstige plaats om een goede verdeling van de gewichten te verkrijgen.
- Bij een tractor met rupsen is de bodemdruk over het algemeen rond de 50 kPa. Ook bij een lichter voertuig dan een conventionele tractor zal er heel contactoppervlak door banden nodig zijn om die bodemdruk van 50 kPa te behalen.

Om te bepalen of de New Holland Boomer 3050 met de gekozen bandconfiguratie bodemvriendelijker is dan de conventionele tractor/spuitcombinatie of de zelfrijdende spuitmachines, zijn de huidige in de praktijk gebruikte machines gewogen en is het contactoppervlak band/bodem bepaald (Tabel 2). Uit de metingen blijkt dat de autonome tractor bij een “hoge” bandspanning een even hoge bodemdruk heeft als de bodemdruk onder de tractor

met de rupsen. Door het zeer grote contactoppervlak van de rupsen heeft de Fendt 412 tractor met een totaalgewicht van ruim 10 ton een bodemdruk van 77 kPa. Wanneer van de achterbanden van de New Holland Boomer de bandspanning verlaagd wordt zoals is aangegeven in de bandspanning-belasting tabel van de bandenfabrikant, dan ontstaat er een groter contactvlak en dus een nog gunstigere bodemdruk. De zelfrijdende spuitmachines (Homburg HeroW, Bargam, Mazotti) hebben een bodemdruk van ruim boven de 100 kPa.

*Tabel 2. Gewichten, bandspanningen, contactoppervlakten en bodemdrukken van de conventionele spuitmachines.*

| Tractor/ spuitmachine | Werk-breedte (m) | Inhoud tank (l) | links/ rechts | Bandspanning (kPa) | | Gewicht (kg) | | | Contact-oppervlak ($cm^2$) | | Bodemdruk (kPa) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | voor | achter | voor | achter | totaal | voor | achter | voor | achter |
| NH Boomer / Sensi Horti | 4,5 | 400 | l | 120 | 130 | 300 | 1200 | 3000 | 1) | 1557 | | 77 |
| | | | r | 125 | 120 | 300 | 1200 | | 2) | 2) | | 77 |
| | | | l | | 65 | 300 | 1200 | 3000 | 1) | 1881 | | 64 |
| | | | r | | 65 | 300 | 1200 | | 2) | 2) | | 64 |
| Fendt Vario Farmer 412 / Hardi Twin | 27 | 1400 | l | rubber rups | rubber rups | 1400 | 3900 | 10600 | 3370 | 5150 | 42 | 76 |
| | | | r | rubber rups | rubber rups | 1350 | 3950 | | 2) | 2) | 40 | 77 |
| Homburg HeroW H323 / Hardi | 24 | 2000 | l | 170 | 190 | 1100 | 2550 | 7350 | 1032 | 1811 | 107 | 141 |
| | | | r | 150 | 180 | 1200 | 2500 | | 2) | 2) | 116 | 138 |
| Bargam / Grimac 2000 | 21 | 2000 | l | 150 | 150 | 1200 | 2050 | 6150 | 1027 | 1600 | 117 | 128 |
| | | | r | | | 1200 | 1700 | | 2) | 2) | 117 | 106 |
| Mazotti | 24 | 2350 | l | 180 | 225 | 1250 | 2100 | 7050 | 1612 | 1757 | 78 | 120 |
| | | | r | 170 | 210 | 1300 | 2400 | | 1591 | 1891 | 82 | 127 |
| Steyer 9100M / Hardi | 24 | 1300 | l | 220 | 310 | 750 | 3100 | 7850 | 1833 | 3240 | 41 | 96 |
| | | | r | 220 | 290 | 800 | 3200 | | 2) | 2) | 44 | 99 |
| Steyr 8080 Turbo / Sensi Horti | 4,5 | 800 | l | 170 | 160 | 450 | 1650 | 4100 | 925 | 1947 | 49 | 85 |
| | | | r | 170 | 170 | 400 | 1600 | | 2) | 2) | 43 | 82 |

1) contactoppervlak is niet gemeten.

2) ondanks dat de bandspanning links en rechts niet gelijk is, is er van uitgegaan dat het contactoppervlak links en rechts wel gelijk is. Alleen aan de linkerzijde is het contactoppervlak gemeten.

### 2.2.6 Cabine

Standaard wordt de tractor afgeleverd met de SUPERSUITE™ Comfort cabine met airconditioning, een dakraamconcept en dunne cabinestijlen. De cabine heeft een vlakke vloer zonder bedieningshandels. In de cabine zijn een besturingskast voor het autonome concept en de besturingskast met display voor de Hardi SensiSpray Horti geplaatst (Figuur 5). Op de achterste cabinestijl is een bedieningskastje om de stand van de luchtspleet van de Hardi spuitboom met luchtondersteuning te kunnen sturen.



*Figuur 5.* *Interieur van de cabine met de besturingskast (Tractor Control Unit) voor de autonome aansturing, het display met bediening van de Hardi SensiSpray Horti en bedieningskastje voor de luchtondersteuning.*

## 2.2.7 Aftakas en hydrauliek

De Boomer 3050 beschikt over een 540 toeren/minuut aftakas. Dit toerental wordt bereikt bij 2405 toeren van de motor. Omdat deze Boomer beschikt over een Continue Variabele Transmissie is hij niet uitgerust met een energiespaarstand van de aftakas (540 E). De aftakas wordt elektrisch geschakeld. Omdat dit een eenvoudige schakeling is, wordt deze gebruikt voor het aansturen voor het aan/uit schakelen van spuiten door de spuitmachine. De hydrauliek is nodig voor het in en uitklappen van de spuitbomen. Vanuit de hydrauliek aansluiting van de tractor wordt ook de ventilator voor de luchtondersteuning aangedreven. De Boomer beschikt over een pompcapaciteit van 37 liter per minuut bij een pompdruk van 172 bar.

## 2.2.8 GPS en veiligheidsvoorzieningen

Voor het autonoom laten rijden van de New Holland Boomer is een Tractor Control Unit samengesteld. Deze bestaat uit de volgende onderdelen:

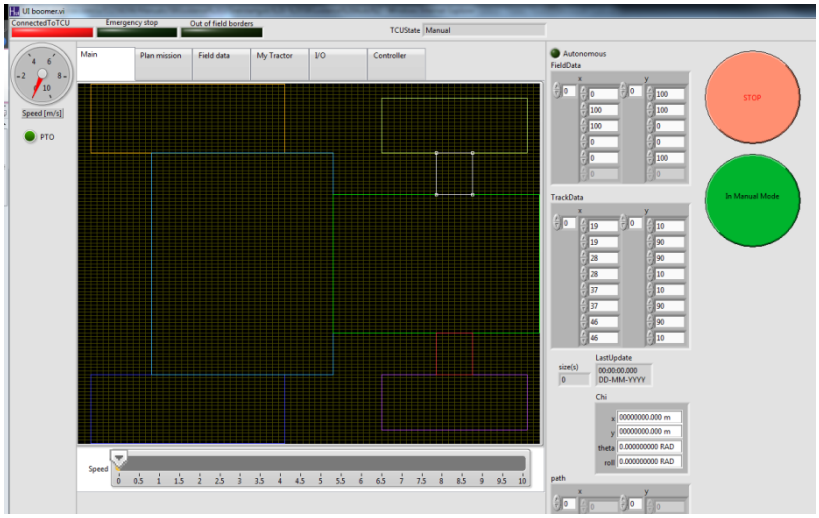
- RTK-DGPS Heading receiver, dual frequency, incl. Glonass, 2 antennas
- Radio modem WAN 3G dual Dual antenna
- ControlBox – controller and IO
- User interface – panel PC
- Wielhoeksensor
- Counter balance sensor for Trimble steering system
- Bekabeling

Het correctiesignaal voor RTK-GPS kan verkregen worden via een eigen referentie-ontvanger of van een RTK-signaal via mobiel internet. Omdat op meerdere percelen gewerkt gaat worden met tussen de percelen de nodige afstand of obstakels als bomen of gebouwen, is een eigen referentie-ontvanger minder praktisch dan een RTK signaal via mobiel internet. Voor het ontvangen van dit signaal is een abonnement afgesloten bij MoveRTK. Voor een goede werking van mobiel internet en een landelijke dekking wordt de geleverde GPRS/UMTS SIM-kaart en verbinding worden door MoveRTK beheerd.

Inbegrepen bij de Tractor Control Unit zijn ook de benodigde veiligheidsvoorzieningen. Deze bestaan uit:

- Remote control, 1000 m reach
- Emergency button
- Signal tower 4-color plus audible alarm

Bij aanvang van de spuitwerkzaamheden wordt de tractor op een startpositie op het veld gezet. Voor aanvang van het aanmaken van een nieuw perceel of het starten van een bespuiting, wordt de computer en het veiligheidssysteem aangezet en getest. Na het aanzetten en testen wordt het schema getoond zoals in Figuur 6




*Figuur 6. Scherm zoals getoond na het opstarten van de computer en het veiligheidssysteem.*

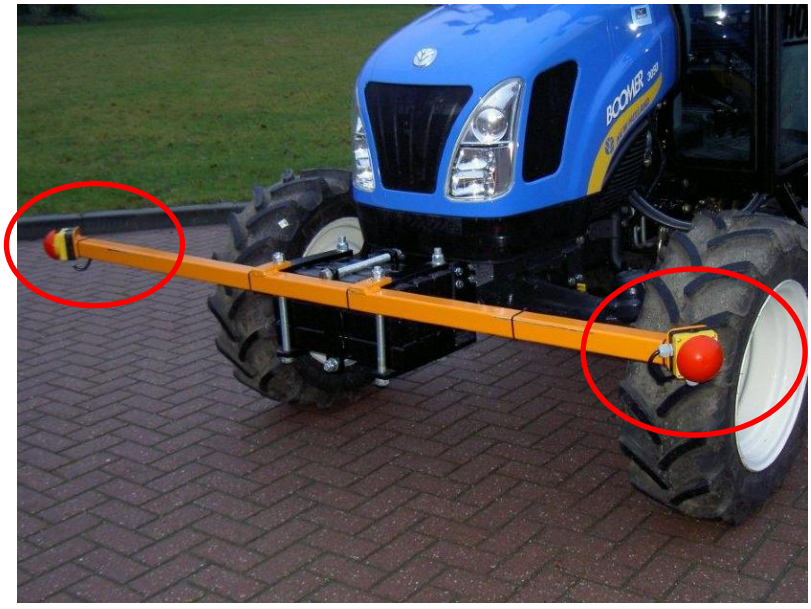
Na opstarten van het autonome concept en het aanvangen van een bespuiting verlaat de bestuurder de tractor. Het activeren en stoppen van autonoom rijden wordt uitgevoerd via de remote control. De status van de werking van het autonome concept wordt aangeduid met signaleringslampen met een geluidsignaal. Afhankelijk van de kleur lamp wordt aangeduid of het veilig is de tractor te benaderen. De lampen zijn aan beide zijden van de tractor net achter de cabine gemonteerd en steken boven de cabine uit voor een goede zichtbaarheid vanuit alle hoeken rondom de combinatie tractor/spuitmachine (Figuur 7). Wanneer een emergency button op de tractor of de emergency button op de remote control wordt geactiveerd, dan wordt de motor van de tractor uitgeschakeld. De tractor staat dan stil en er is geen hydraulisch vermogen meer beschikbaar. Het elektrisch circuit wordt niet uitgeschakeld wanneer de emergency button wordt bediend. Om mogelijke beïnvloeding te voorkomen is het uitschakelen van de motor bij een emergency onafhankelijk van de implementatie van de besturing en in hardware uitgevoerd.

Een emergency situatie kan worden veroorzaakt door de gebruiker door op een noodknop te drukken, maar ook door de software zelf wanneer een onveilige situatie wordt herkend. Bijvoorbeeld wanneer de tractor in een verkeerde zone komt of wanneer het GPS signaal weg zou vallen.

In geval van nood kan er ingegrepen worden door het bedienen van de emergency button op de remote control of met de emergency buttons aan de voorzijde van de tractor. De afstandsbediening heeft een bereik van 1000 meter. De nood knoppen zijn gesitueerd aan de voorzijde van de tractor voor de frontgewichten. Om te voorkomen dat er dicht bij de wielen actie ondernomen moet worden om de tractor te stoppen, steken de knoppen in breedte gezien ruim buiten de wielen van de tractor uit (Figuur 8). Aan de achterzijde van de tractor en spuit zijn geen noodvoorzieningen aangebracht.
Wanneer een nood knop wordt bediend, wordt de motor van de tractor uitgeschakeld. Hiermee stopt het rijden van de tractor en de mechanische en hydraulische aandrijving van de spuitmachine. Het uitschakelen van de motor bij een noodsituatie werkt onafhankelijk van de autonome besturing en is in hardware uitgevoerd.



*Figuur 7.* *Status lampen voor zichtbaar maken van de werking van de combinatie tractor/spuitmachine.*



*Figuur 8.* *Nood knoppen aan de voorzijde van de tractor.*

## 2.3 Autonoom rijden van de tractor

Het autonoom laten rijden van de tractor is opgesplitst in (1) het opstarten van het computersysteem en het testen en inwerking brengen van het veiligheidssysteem, (2) de procedure die gevolgd moet worden om een nieuw perceel in het systeem in te voeren en (3) wanneer een perceel bekend is in het systeem om dan daar de bespuiting uit te gaan voeren.

### 2.3.1 Opstarten computersysteem en veiligheidssysteem

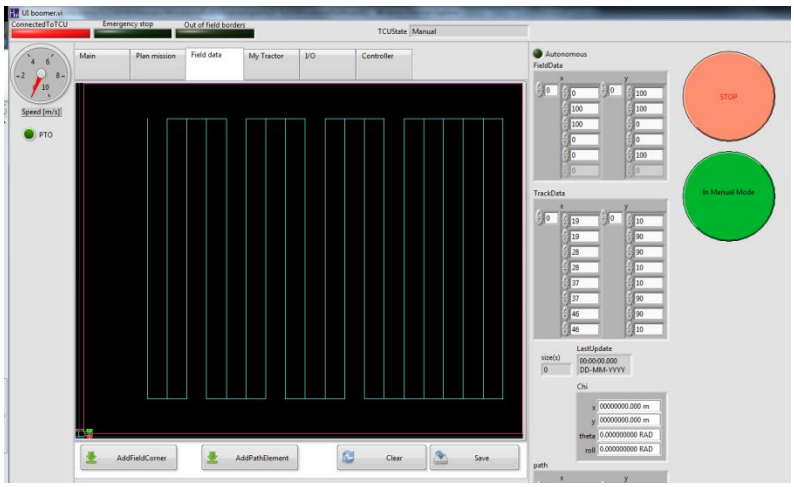
Om de tractor autonoom over het veld te laten rijden dienen de computer en het veiligheidssysteem aangezet te worden. Tijdens de opstartprocedure wordt het veiligheidssysteem getest en geactiveerd. De procedure dient te gebeuren in de volgende stappen:

I. Rij naar het gewenste perceel.
II. Zet het veiligheidssysteem aan via de aan/uit knop aan de zijkant van de bedieningskast.
III. Het veiligheidssysteem zal in de noodstatus gaan. De motor van de tractor zal uitvallen en de rode licht van de signaaltoren lichten zal gaan branden.
IV. Draai aan de resetknop op de besturingskast om het veiligheidssysteem uit de noodstatus te halen. Het veiligheidssysteem zal in handmatige status gaan en de groene lamp van de signaaltoren zal branden.
V. Start de tractor weer.
VI. Druk op de aan knop aan de zijkant van het scherm, om de computer aan te zetten.

Binnen de opstartprocedure wordt de motor van de tractor uitgeschakeld. Daarom mag de computer en het veiligheidssysteem nooit op de openbare weg aan gezet worden!
Na het doorlopen van de opstartprocedure verschijnt het scherm zoals afgebeeld in Figuur 6. Hierna kan een nieuw perceel aangemaakt worden of een pad gepland worden van een reeds opgeslagen perceel.

### 2.3.2 Een nieuw perceel aanmaken:

Voorafgaand aan het kenbaar maken hoe de tractor de spuitpaden moet gaan volgen, moet eerst ingevoerd worden waarbinnen de tractor de bewegingsvrijheid heeft. Dit is de zone waarbinnen de tractor veilig kan werken. Deze zone wordt gemarkeerd door de hoekpunten van het perceel in te voeren. Dit invoeren wordt gedaan door in het scherm te kiezen voor de tab “field data” (Figuur 9).




*Figuur 9 Invoeren van de hoekpunten van het perceel.*

Vervolgens komen de volgende stappen aan de orde om alle hoekpunten vast te leggen

I. Rij de tractor naar een hoekpunt van het veld.
II. Druk wanneer u goed in de hoek staat op “AddFieldCorner”.
III. Rij naar een aanliggende hoek van het perceel en ga met de tractor in het hoekpunt staan.
IV. Druk wanneer u goed in de hoek staat op “AddFieldCorner”.
V. Ga door met stap VI en VII tot u weer bij de eerste hoek staat. Sla deze nog een keer op. Mits alles naar wens is gegaan kunt u verder gaan het invoeren van de spuitbanen.
VI. Druk op “clear” wanneer u een fout punt heeft toegevoegd. Alle punten worden verwijdert. Begin weer opnieuw bij stap II

### 2.3.3 Spuitbanen perceel aanmaken:

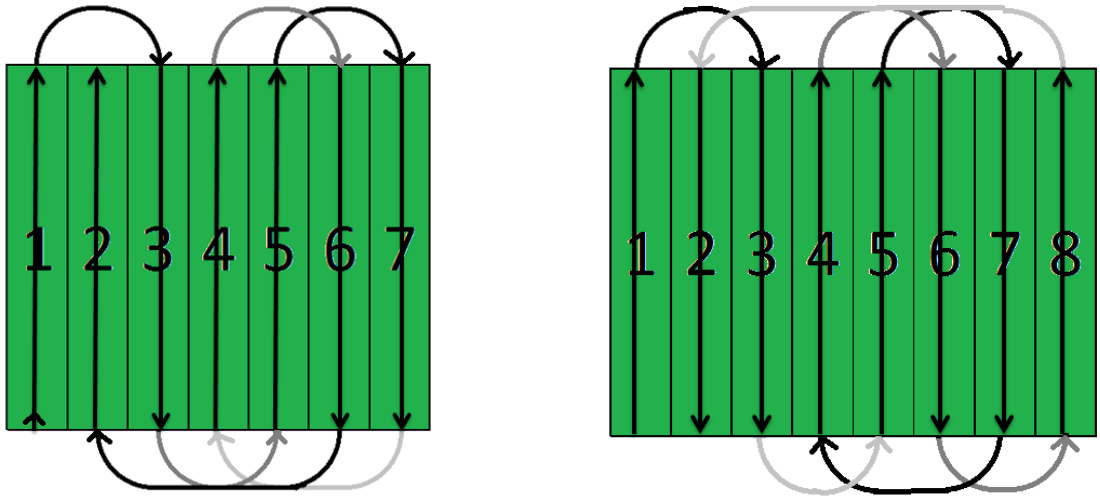
Wanneer de hoekpunten van een perceel zijn vastgelegd, moet het begin en het einde van ieder spuitbaan ingemeten worden. Dit gebeurd met de volgende stappen.

I. Ga in de gewenste beginbaan staan, deze moet langs een zijde van het veld liggen.
II. Zet de tractor midden boven de baan met de achteras midden boven het begin van het gewas.
III. Zorg dat de tractor stilstaat en druk op “AddPathElement”.
IV. Rij nu naar de overkant, rij midden over het bed de baan uit en stop op het moment dat de achteras zich midden boven het einde van het gewas bevind.
V. Zorg dat de tractor stilstaat en druk op de knop “AddPathElement”
VI. Ga nu naar de volgende baan in onderstaande volgorde voor een oneven aantal spuitbanen (A) en een even aantal spuitbanen (B) en volg stappen II t/m V op het begin en einde van elke baan (Figuur 10).

    A. Oneven aantal spuitbanen:
    - Sla vanaf de eerste baan telkens een baan over totdat de buitenste baan is bereikt.
    - Ga drie banen richting de beginbaan.
    - Ga twee banen van de beginbaan af.
    - Ga drie banen richting de beginbaan.
    - Sla vanaf deze baan telkens weer een baan over richting de beginbaan.

    B. Even aantal spuitbanen:
    - Sla vanaf de beginbaan telkens een baan over totdat de een na laatste baan bereikt is.
    - Ga drie banen richting de beginbaan.
    - Ga twee banen van de beginbaan af.
    - Ga twee banen van de beginbaan af.
    - Ga zes banen richting de beginbaan.
    - Sla vanaf deze baan telkens een baan over in de richting van de beginbaan tot je in de baan naast de beginbaan uitkomt.

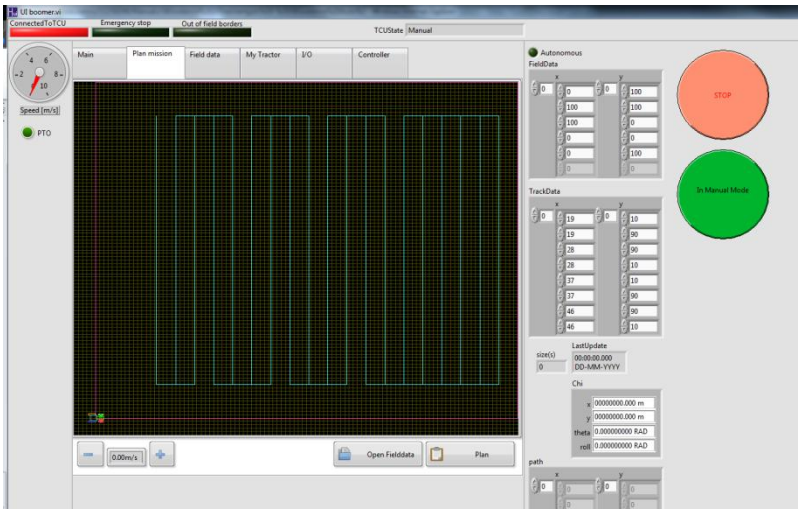
VII. Druk wanneer alles naar wens is opgeslagen op “Save”
VIII. Druk op “clear” wanneer een fout punt is opgeslagen. Begin hierna weer bij stap II om de spuitbanen van het perceel aan te maken.




*Figuur 10. Baanvolgorde bij een oneven aantal banen (links) en bij een even aantal banen (rechts).*

### 2.3.4 Het uitvoeren van een bespuiting in een 'bekend' perceel

Wanneer het pad van een opgeslagen perceel gepland moet gaan worden, worden de volgende stap gemaakt: Druk op de tab plan mission. De geplande route komt in beeld (Figuur 11). Wanneer het gewenste perceel niet overeenkomt met het kaartje op het scherm, kan het gewenste perceel geopend worden door op "open fielddata" te klikken. Open het gewenste perceel. Het gewenste pad op dit perceel zal in het kaartje verschijnen.




*Figuur 11. Screenshot van de geplande route van het veld (blauwe lijn) en de omtrek van het perceel waarbinnen de tractor zich kan bewegen (rode lijn).*

Als het pad gepland is kan de bespuiting uitgevoerd worden door de volgende handelingen:

I. Ga in het begin van de startbaan staan.
II. Stel het toerental in op 2500 toeren/min (aftakastoerental = 540 toeren/min) door middel van het handgas
III. Stap uit de tractor en ga op een veilige afstand van de machine staan.
IV. LET OP! DE MACHINE ZAL NA DEZE AKTIE GAAN RIJDEN! Druk op de oranje knop van de afstandsbediening.
V. De machine zal nu het ingegeven pad volgen en de spuit zal in werking treden.

Wanneer de tank bijgevuld moet worden of een verstopte dop schoongemaakt moet worden kan de tractor gestopt worden door met de groene knop de handmatige modus te activeren. De tractor stopt dan met rijden.

## 2.4 Testresultaten autonoom navigatiesysteem

In deze paragraaf worden de resultaten van enkele functionele testen met het autonome navigatiesysteem beschreven. Doel was het testen of de onderdelen goed functioneren voordat de veldtest gedaan wordt.

### 2.4.1 Test veiligheidssysteem

Met de tractor is getest of de veilgheidsknoppen naar behoren functioneren. Met de tractor is gereden en elke noodstop is getest. Dit betreft de noodknoppen op de afstandsbediening, in de tractor, maar ook de noodstoppen voorop de tractor.
Tijdens de testen zijn geen onvolkomenheden in het systeem ontdekt en functioneerde alle noodvoorzieningen naar behoren. Ondanks dit positief resultaat zal uit de veldtesten moeten blijken of er nog onvolkomenheden zijn zoals bijvoorbeeld het aantal en de plaats van de noodknoppen.

### 2.4.2 Test hardware in the loop

Om de autonome navigatie te kunnen testen is de tractor van de grond af geplaatst op blokken (Figuur 12). In deze opstelling kan de tractor een gesimuleerd pad afleggen. Hardware in the loop testen betekent dat met de echte tractor een gesimuleerde route wordt afgelegd. Op deze wijze kunnen de instellingen van de navigatiecontroller getuned worden. Met dit tunen wordt er voor gezorgd dat de nauwkeurigheid in het volgen van het pad geoptimaliseerd wordt. Onder andere zijn stapresponsies gemeten van de wielhoeksturing, en op basis van deze stapresponsies zijn de instellingen in het navigatiealgoritme gewijzigd.
Na het uitvoeren van de eerste hardware in loop testen zijn een aantal aanpassingen in het algoritme doorgevoerd. Onder andere is de tijdvertraging van het stuursysteem gecorrigeerd en ingebouwd in het stuuralgoritme in de besturingscontroller.




*Figuur 12. Testen van het hardware in the loop systeem waarbij de tractor van de grond af is geplaatst om een gesimuleerd pad te kunnen rijden.*

### 2.4.3 Test functionaliteit

Na de testen van de navigatie op de blokken is de tractor weer op de grond gezet en zijn functionele testen in het veld uitgevoerd. Hier is begonnen met het testen van het rechtrijden op het betonpad. Tijdens het rechtrijden blijkt dat de tractor nog een offset van tussen 10 en 30 cm heeft op het rechte geplande pad. Dit wordt verholpen door de positie van sensoren en actuatoren te calibreren. Op deze manier wordt de offset van het pad naar nul gebracht. Bij het rechtrijden blijkt dat de tractor nu nog oscilleert rondom het rechte pad. Dit betekent dat de tractor slingert langs het pad. Met name in het begin van het spoor zijn de afwijkingen naar links en rechts nog tot maximaal 40 cm. Dit is nog te veel om in een spoor tussen aardbeien bedden te kunnen rijden. Verbeteringen op een hoger niveau in de software zijn nodig om de tijdvertraging in het systeem weg te kunnen regelen. De tractor mag op het rechte pad niet meer dan 2-5 centimeter slingeren om geen schade aan de aardbeibedden aan te richten.

Het inmeten van percelen, veiligheidszones, start en eindpunt van de bedden met aardbeien werkt volgens specificatie en naar behoren. Vervolgens is de routeplanning in het perceel ook gerealiseerd. Het afleggen van het pad volgens de geplande route gaat nog niet voldoende goed, en moet nog verbeterd worden voordat het systeem in de praktijk tussen aardbeienbedden kan rijden.

Op basis van de testresultaten gaat de autonome precisiespuit nu in het veld onder praktijkomstandigheden verder getest worden. De machine verhuist van Wageningen naar de aardbeientelers in West Brabant voor testen van het spuitsysteem en de autonome navigatie. Na een eerste demonstratie zal de tractor weer retour naar Wageningen komen om verder ingeregeld te worden. In de veldtest op 25 juni 2012 bleek dat de autonome spuit op de kopakker nog te veel van het geplande pad afwijkt. Hiervoor dient nog een aanpassing doorgevoerd te worden.

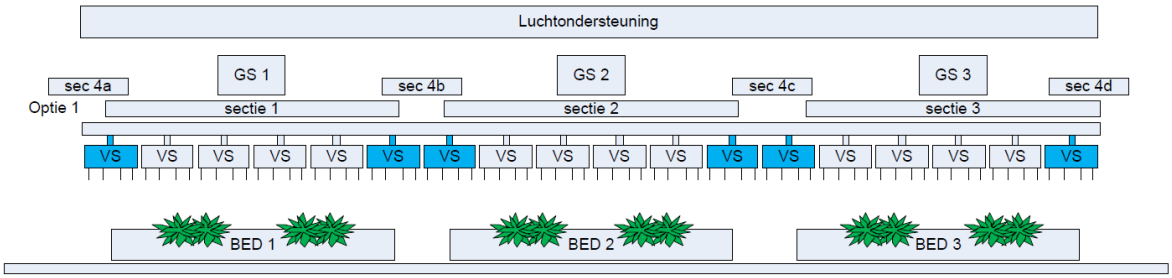
## 2.5 Sensorgestuurde spuit: SensiSpray Horti

De basis is een Hardi spuitboom met luchtondersteuning van 4,5 m breed (Tabel 3, Figuur 1), bestaand uit 3 elementen met 1,5 m breedte. Zo kunnen in één werkgang drie aardbeibedden worden behandeld. Elk segment bevat één Greenseeker® die midden boven het aardbeienbed werd geplaatst. Deze Greenseekers meten de dichtheid van het gewas (NDVI) en geven het signaal door naar de Sensispray® computer. Boven elk bed zaten 2 x 2 Varioselekt®-dophouders, elk set van 2 gericht boven één rij met aardbeienplanten. Naast de Varioselekts boven het gewas zaten er ook nog Varioselekt®-dophouders boven de rijpaden. In ons experiment werden de doppen boven de rijpaden handmatig uit gezet. In de Varioselekt® dophouders waren 0.075, 01 en 2 x 0.15 doppen gemonteerd. In de Sensispray® computer zat een rekenregel (versie 2011) die afhankelijk van het inkomende signaal van de GreenSeeker® (en de rijsnelheid) een bepaalde hoeveelheid vloeistof liet uitbrengen, beschreven door het onderstaande model in

Figuur 14. Dit rekenmodel was een eerste test om te bestuderen of het systeem werkt. In tabel Tabel 4 is weergegeven hoe de afgifte van de spuit boven een gewasrij tot stand komt. Tijdens het spuiten wordt ook de verschillende parameters in het spuitproces gelogd (GPS-tijd, GPS-coördinaten, afgelegde weg, rijsnelheid, flow, spuitdruk, luchtdruk, ventilatorsnelheid, secties aan/uit, doppen aan/uit, NDVI, Vegetatie-index, target dose, actual dose) met een frequentie van 1 keer per seconde. Dit leverde bij de toegepaste rijsnelheid van 1 m/s één meting per meter op.

*Tabel 3. Typering spuittechniek.*

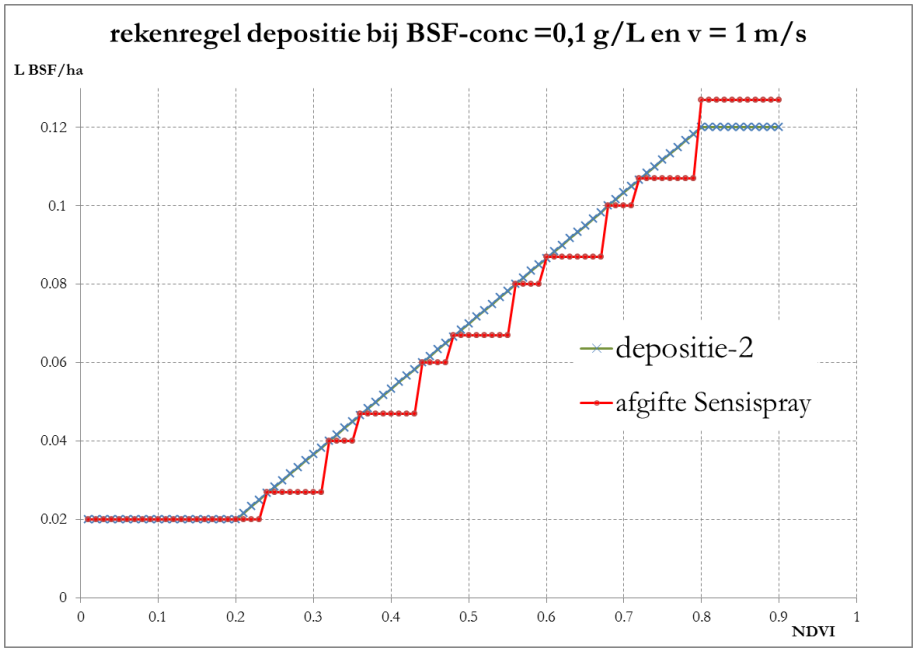
| Techniek | Merknaam | Werkbreedte (m) | Dop | Druk (bar) | Rijsnelheid (km $h^{-1}$) | Afgifte (l $ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CDS | SensiSpray Horti | 4,5 | F 015 -110<br>F 01 – 110<br>F 0075 - 110 | 3 | 6 | 400 - 700 |




*Figuur 13.* *Schematische weergave van SensiSpray Horti (GS is GreenSeeker® sensor (3 stuks), VS is VarioSelect® doppenset (6 doppensets per sectie).*

*Tabel 4.* *Afgifte patroon SensiSpray Horti*

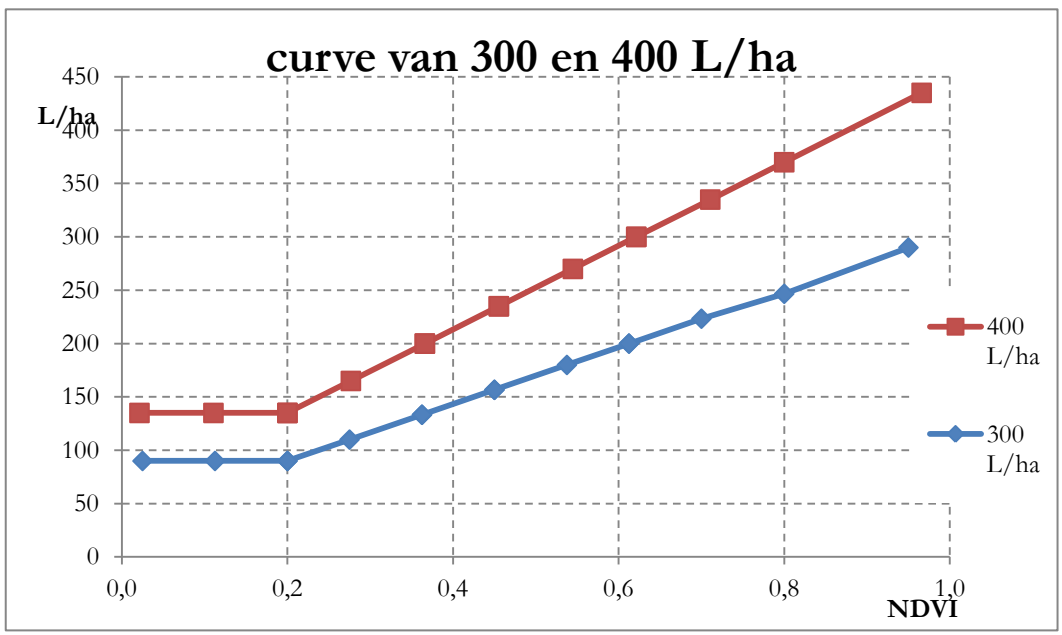
| | Varioselekt® 1 | | | | Varioselekt® 2 | | | | n dop | Afgifte (l min$^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Positie | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | | totaal dop type | totaal dop afgifte |
| Doptype | 015 | 015 | 01 | 0075 | 0075 | 01 | 015 | 015 | | | |
| Stap | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | 0075 | 0075 | | | | 1 | 0.075 | 0.3 |
| 2 | | | 01 | | | 01 | | | 1 | 0.1 | 0.4 |
| 3 | | 015 | | | | | 015 | | 1 | 0.15 | 0.6 |
| 4 | | | 01 | 0075 | 0075 | 01 | | | 2 | 0.175 | 0.7 |
| 5 | | 015 | | 0075 | 0075 | | 015 | | 2 | 0.225 | 0.9 |
| 6 | | 015 | 01 | | | 01 | 015 | | 2 | 0.25 | 1.0 |
| 7 | 015 | 015 | | | | | 015 | 015 | 2 | 0.3 | 1.2 |
| 8 | | 015 | 01 | 0075 | 0075 | 01 | 015 | | 3 | 0.325 | 1.3 |
| 9 | 015 | 015 | | 0075 | 0075 | | 015 | 015 | 3 | 0.375 | 1.5 |
| 10 | 015 | 015 | 01 | | | 01 | 015 | 015 | 3 | 0.4 | 1.6 |
| 11 | 015 | 015 | 01 | 0075 | 0075 | 01 | 015 | 015 | 4 | 0.475 | 1.9 |




*Figuur 14. Rekenregel 25 mei 2011, depositiehoeveelheid tracer versus NDVI.*

## 2.6 Doseeralgoritmen (concepten 2012 en 2013)

Op basis van de eerste ervaringen met SensiSpray Horti in 2011 is gekozen om twee nieuwe 2 doseeralgoritmen (Figuur 15) te programmeren in de software van SensiSpray Horti. Hiermee zijn in 2012 en 2013 veldproeven gedaan bij de telers in West Brabant. De resultaten worden beschreven in Hoofdstuk 3.




*Figuur 15. Rekenregels 2012, depositiehoeveelheid spuitvloeistof versus NDVI voor machines die afgesteld staan op maximale afgifte van 300 of 400 l spuitvloeistof per ha.*

# 3. Resultaten Fase 3: Experimenten 2012 en 2013

## 3.1 Autonome navigatie

### 3.1.1 Stand van zaken eind 2012

Beschikbare hardware: stuursensor, begrenzer stuuruitslag, proportionele stuurschuif, noodknoppen, tractor control unit. Alle componenten kunnen elektronisch aangestuurd worden en werken (afzonderlijk) naar behoren. De software waarmee de routing bepaald wordt en er dus ook voor zorgt dat de componenten op het juiste tijdstip aangestuurd worden werkt echter niet volgens de doelen die gesteld zijn in het project.

Het nog niet nauwkeurig genoeg kunnen navigeren door het perceel is enerzijds een gevolg van het nog niet (commercieel) beschikbaar zijn van de techniek waarbij de routing over een perceel berekend wordt en daarna deze routing autonome door een tractor over het veld wordt gevolgd. Anderzijds is dit een gevolg van het feit dat meer tijd nodig is om de juiste programmatuur te ontwikkelen.

Om toch het einddoel van het project te kunnen halen – nauwkeurige autonome navigatie - is door het projectteam gekozen om van een techniek gebruik te gaan maken die ook op golfbanen gebruikt wordt. Hierbij wordt met de machine door de chauffeur de te volgen weg afgelegd. De gegevens van het gevolgde pad worden opgeslagen om op een ander tijdstip herhaald te kunnen worden. Zowel de afgelegde weg als de verschillende acties die tijdens het rijden worden uitgevoerd, worden opgeslagen.

### 3.1.2 Aanpassing

Met de keuze van deze 'teach & playback' techniek van het bedrijf Probotiq b.v. is ook de keuze gemaakt dat van de routing op een perceel waarop de gewasbescherming moet plaatsvinden, eerst door een bestuurder van het voertuig moet worden uitgevoerd. De door de bestuurder van het voertuig gekozen routing kan afwijken van een in de eerder situatie softwarematig bepaalde route. Dit is afhankelijk van zowel de kwaliteit van de software als van het planmatig denken van de bestuurder.

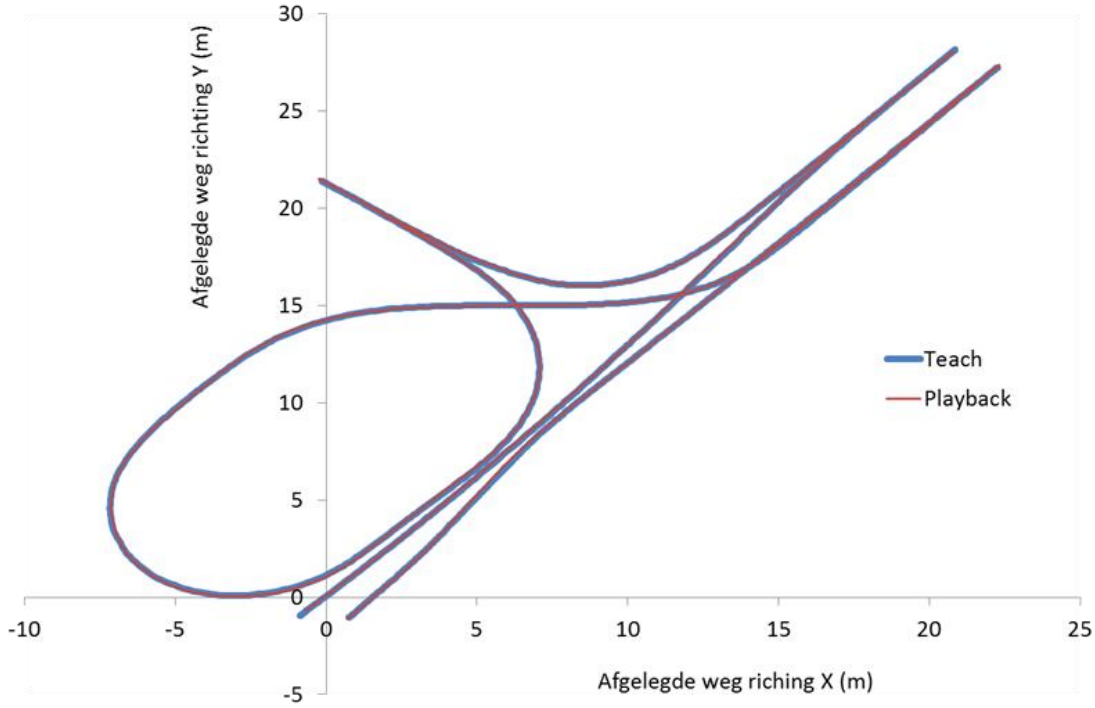
Om de 'teach & playback' techniek te kunnen toepassen is zowel de hardware als de software gewijzigd ten opzichte van de eerder toegepaste techniek. De hardware die vervangen is, voldeed voor de 'teach & playback' techniek niet aan de gestelde technische eisen. De stuurhoeksensor is, omdat de vorige sensor niet nauwkeurig genoeg was, vervangen voor een type vergelijkbaar aan een Trimble rechtrij systeem. Met deze sensor is in eerdere projecten goede ervaringen opgedaan.

### 3.1.3 Hardware

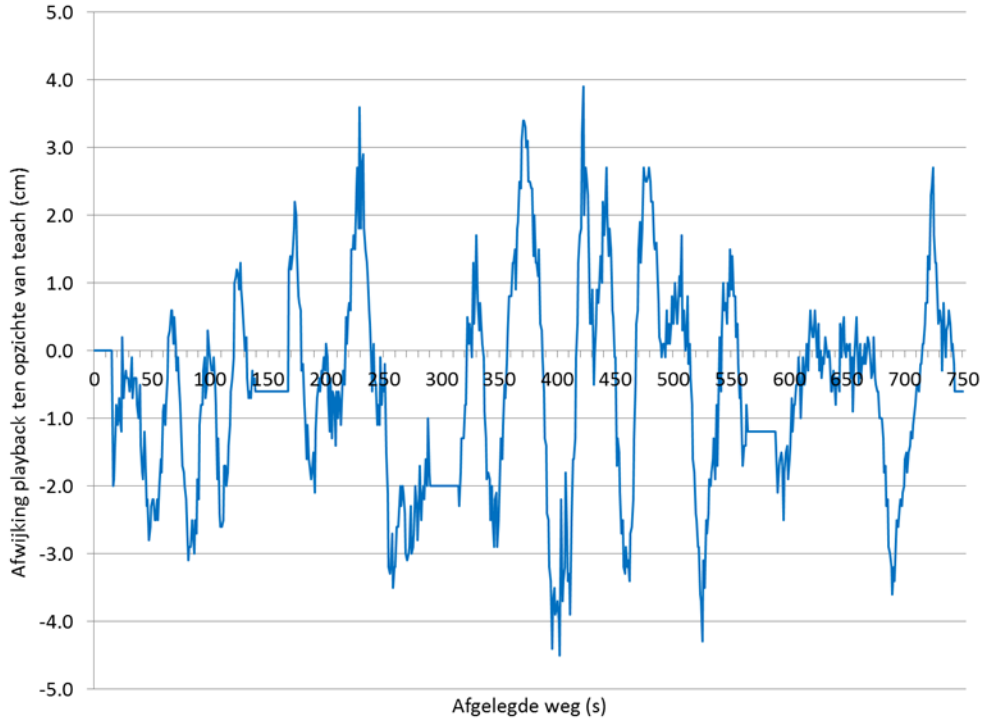
Navigatiecomputer met daarin GPS ontvanger en GSM modem;
Afstandsbediening, noodstoppen en brandstof-uit-klep;
Steering & engine control unit (aansturing voorwielen en motortoerental);
Inertial measurement unit tbv correctie GPS signaal en scheefstand;
Tractor control module tbv aansturing transmissie en aftakas.

### 3.1.4 Software – 'Teach and playback' techniek

Het teachen voor het autonoom laten rijden van de tractor wordt door de bestuurder uitgevoerd. Wanneer eenmaal opgenomen kan, in theorie, de routing oneindig veel geplaybackt worden. Om gewasschade bij het in- en uitdraaien van de bedden op het kopakker en op het rechte pad te vermijden, dient het teachen met een zekere nauwkeurigheid te gebeuren. Om na te gaan of het aangeleerde ook nauwkeurig wordt nagespeeld, kan vanuit de teach data en de playback data een cross track error (CTE) worden berekend. Dit is de loodrechte afwijking t.o.v. het pad wat eerder is opgenomen. Om de mogelijke afwijking te onderzoeken is een parcours afgelegd (Figuur 16). In het parcours zijn, vooruitrijdend, rechte stukken, bochten en een op een ovaal gelijkende curve opgenomen. Achteruitrijdend zijn rechte stukken en een bocht opgenomen. In Figuur 17 wordt van de afgelegde route de CTE weergegeven. Uit de metingen blijkt dat de afwijking naar links van de vooraf opgenomen data maximaal 4 cm is en naar rechts 4,5 cm.




*Figuur 16. Afgelegde route voor het meten van de cross track error.*




*Figuur 17. Afwijking van de playback data ten opzichte van de teach data (in cm).*

### 3.1.5 Doseerkaarten via Akkerweb

In de onderzoeksopdracht is opgenomen dat verkregen data van de SensiSpray Horti gebruikt moet kunnen worden voor de bedrijfsadministratie en voor visuele weergave van 'as applied' doseerkaarten. In de huidige situatie wordt data gelogd en worden de GPS coördinaten (lat/lon, RD), de rijsnelheid (m/s), de verspoten hoeveelheid vloeistof (l/min) en de spuitdruk (bar), de luchtdruk van de luchtondersteuning (bar), de ventilatorsnelheid van de luchtondersteuning (rpm), welk model van de rekenregel wordt gebruikt (#), welke spuitdop binnen de dophouders er als "hoofddop" is geselecteerd (#), welke sectie op dat moment is ingeschakeld (actief is). Voor elke sectie wordt vervolgens gelogd met welke dop van de dophouder op dat moment wordt gespoten, de NDVI (#), de hoeveelheid vegetatie (#), de hoeveelheid middel wat verspoten zou moeten worden (liter per ha) en de hoeveelheid middel wat uiteindelijk is verspoten (l/ha).

De gelogde data kan, via een USB stick, overgebracht worden naar een andere computer waarop bijvoorbeeld de bedrijfsadministratie wordt bijgehouden. Naast de USB aansluiting wordt de data ook via een seriële poort uitgestuurd, waardoor deze met een andere hardware oplossing realtime gestreamd kan worden naar een webserver met webservice. Op deze wijze is de data rechtstreeks te gebruiken voor een managementsysteem of voor visualisering.

Via een USB stick is diverse gelogde data verkregen van een teler. De betreffende data bestaat uit bespuitingen die uitgevoerd zijn in de periode 28 juni tot en met 7 september 2012 in een gewas aardbeien. In Figuur 18 en Figuur 19 wordt van een perceel aardbeien, die op 19 juli bespoten is, weergegeven respectievelijk de NDVI en de dosis gewasbeschermingsmiddel (in l/ha) wat verspoten is op de planten.




*Figuur 18.* *Voorbeeld van de ruimtelijke variatie in de NDVI parameter zoals gemeten met de GreenSeeker® sensor sectie 2 (middelste sectie van de SensiSpray Horti spuit) in een aardbeigewas op 19 juli 2012. Visualisatie via Akkerweb software. NDVI lag globaal tussen 0,5 en 0,7.*




*Figuur 19.* *Voorbeeld van ruimtelijke variatie in de actuele dosis van een middel dat werd gespoten n.a.v. de in Figuur 18 weergegeven NDVI parameters in een aardbeigewas op 19 juli 2012. De variatie in actuele dosis is kleiner dan variatie in NDVI als gevolg van de getrapte instelling van de spuittechniek. Bij de gemeten NDVI waarden werd het grootste deel van de tijd gespoten met 2of 3 spuitdoppen per cluster van 4 doppen aangeschakeld.*

## 3.1.6 Stand van zaken maart 2013

**Beveiliging**

De huidige beveiliging bestaat uit een software matige beveiliging en het handmatig ingrijpen in een noodsituatie. De software matige beveiliging komt o.a. in werking als het GPS signaal wegvalt of het voertuig buiten een vooraf ingesteld zone terecht komt.
Bij het handmatig ingrijpen wordt de motor van de tractor uit gezet waardoor de rijaandrijving en aandrijving van de spuitmachine wordt stop gezet. Plotselinge obstakels of obstakels die voortijds niet zijn waargenomen door de gebruiker, worden hiermee toch beschadigd raken of overreden worden of kunnen een beschadiging geven aan de tractor en/of de spuitmachine.
Een combinatie van het huidige systeem en een optische beveiliging maakt een handmatig ingrijpen en het ingrijpen in onvoorziene situaties mogelijk. Onvoorziene situaties kunnen bestaan uit het plotseling in het niet veilige gebied komen door personen. Die worden bij het huidige systeem zowel voor als achter de tractor en spuitmachine niet gedetecteerd. De zone aan de voorzijde van de tractor kan gescand worden met behulp van radar en laserscanners om statische en dynamische objecten die afwijken van een regulier aardbeienperceel te herkennen. Tevens is een beeldvormende sensor nodig, die informatie naar de toezichthouder kan versturen zodat op basis daarvan besloten kan worden om wel of niet door te rijden nadat gestopt is voor het object. In de 'oude' situatie is geen rijmoment opgenomen waarbij de tractor/spuitcombinatie achteruit zal rijden. In de 'teach & playback' situatie kan wel een achteruitrijmoment plaatsvinden. Voor zo'n situatie is nog geen (optische) beveiliging aanwezig om vast te stellen of de tractor achteruit kan rijden of niet.

De tractor en de hardware zijn ook nog niet CE gecertificeerd, en werken daarom nog in een prototype testsituatie. Meer onderzoek naar veiligheid rondom het voertuig zijn nog nodig om het juiste type sensor te kiezen en CE certificering mogelijk te maken.

**Correctiesignaal RTK-GPS**

Voor het autonoom laten rijden van de tractor-spuitcombinatie wordt gebruik gemaakt van het RTK-GPS correctiesignaal wat via een mobiele internet verbinding wordt ontvangen. De mobiele internet verbinding is een 3G verbinding waarvoor een abonnement is afgesloten bij MoveRTK. Bij het abonnement is ook een data-only SIM kaart inbegrepen. De oorspronkelijke 3G had een transmissiesnelheid van 2 Mbit/s (0,25 Mbyte/s) als men stilstaat en 384 Kbit/s (48 Kbyte/s) bij beweging door bijvoorbeeld rijden met een tractor. Opwaardering van het 3G netwerk naar 3.9G heeft geleid tot een transmissiesnelheid van 300 Mbit/s (37,5 Mbyte/s).
Uit metingen blijkt dat met het 3G mobiel internet abonnement van MoveRTK wat nu gebruikt wordt, een transmissiesnelheid wordt bereikt van 14,9 kB/s download en 6,7 kB/s upload. De test is in Geldermalsen en Cuijk in de open buitenlucht uitgevoerd; er was een goede signaalsterkte. Voor de toepassing van het leveren van een correctiesignaal is de transmissiesnelheid voldoende. Het abonnement is echter ook bedoeld voor remote support, waarbij het een optie zou moeten zijn voor het nagenoeg real time meekijken met de actie die uitgevoerd wordt door de autonome tractor en de spuit. Ook zal het 3G netwerk gebruikt gaan worden voor het uitvoeren van software updates van de aansturing van de tractor en de spuit. Voor beide toepassingen is de transmissiesnelheid veel te laag om tot een werkbare situatie te komen. Overleg met MoveRTK is in gang gezet om de transmissiesnelheid van de mobiel internet verbinding te verbeteren en tot de afgesproken doorvoersnelheid te komen.

**Afwijkingen van het rechte pad**

Voor het 'teachen' van het systeem moet het gehele parcours over een perceel afgelegd worden. Dit is inclusief de rechte paden tussen de bedden met aardbeienplanten in. Deze handeling is afwijkend van een systeem waarbij eerst een A-B lijn wordt uitgezet aan de hand waarvan het navigatiesysteem een rechte lijn uitzet en vervolgens hierover de tractor stuurt. Er van uit gaande dat de bedden met aardbeien (kaars)recht zijn geplant en over het perceel evenwijdig aan elkaar liggen dan zou de A-B lijn 'uitgezet' kunnen worden bij het bespuiten van het eerste bed.

Wanneer door de bestuurder niet (kaars) recht is gereden, kan dit softwarematig aangepast worden. Wanneer voldaan wordt aan de eerder beschreven situatie (recht geplante bedden en evenwijdig aan elkaar) kan softwarematig berekend worden waar het volgende bed zich bevind en waar welke lijnen zich bevinden t.o.v. de A-B lijn. De afstand tussen deze lijnen is afhankelijk van de werkbreedte van de achterhangende machine.

**Visualisatie**

De SensiSpray Horti heeft een boombreedte van 4,5 die bestaat uit 3 secties. De VarioSelect® spuitdoppen op elke sectie worden aangestuurd door één GreenSeeker® per sectie. Bij elke regel uitvoerdata van de drie GreenSeeker® sensoren, en daaraan gekoppeld vegetatie, target en actuele dosis per sectie, wordt van 1 GPS ontvanger de coördinaten in Lat/Lon en RD weergegeven. Voor het weergegeven van data van een spuitboombreedte dienen meer GPS coördinaten bekend te zijn waarbij de voorkeur uitgaat naar het coördinaat van elke GreenSeeker®. Hiermee kan van elke werkgang de drie bespoten bedden gelijktijdig weergegeven worden en dus geanalyseerd worden waarmee de variatie in en tussen bedden vergeleken kan worden. Het bepalen van de locatie van de drie onafhankelijke GreenSeeker® sensoren is, ten opzichte van de GPS ontvanger die al aanwezig is op de spuit, een rekenkundige toevoeging. De berekening kan gelijktijdig met het loggen van de data plaatsvinden en dus ook opgeslagen worden waardoor dit niet een aparte bewerking hoeft te zijn tussen het binnen halen van data en het visualiseren daarvan.

**Spuitbomen in en uitklappen**

De spuitboomsecties worden met behulp van hydraulische cilinders uit- of ingeklapt. Het bedienen van de stuurschuif voor het in of uit laten gaan van de hydraulische cilinders vind handmatig plaats. De besturingskast in de cabine van de Boomer is hardware matig voorbereid voor automatisering van het uitklappen van de spuitboomsecties. Voor het volledig automatisch in- en uitklappen van de secties dient er een bekabeling aangebracht te worden tussen de bedieningskast en de stuurschuif, de handmatig bediende stuurschuif vervangen te worden door een elektrisch bediende en de software aangepast te worden.

**Veiligheid**

Bij het volledig autonoom laten rijden wordt alleen supervisie op zowel de tractor als de spuitmachine uitgevoerd ‘op afstand’. Op dit moment worden er geen controles uitgevoerd op goede werking van de machine en op obstakels die wel of niet plotseling aanwezig zijn.
Controles op goede werking van de machine kan bestaan uit sensoren die meten of:

- de spuitboom (secties) goed zijn uitgeklapt voor een goede bespuiting of goed zijn ingeklapt voor veilig transport.
- er überhaupt een uitgaande flow van de spuit is waaruit blijkt dat er wel gespoten wordt.
- het vloeistofniveau in de tank niet sneller zakt dan de vermindering van de vloeistofvoorraad die berekend wordt en/of gebruikt wordt voor het spuiten. Hiermee kan worden bepaald of er geen lekkage optreedt of ongewenste plekken bespoten worden.

Een aanbeveling is om voorop de tractor een (optische) beveiliging te hebben die ingrijpt in de voortbeweging van de tractor als onverwachte, vooraf niet waargenomen, obstakels binnen het ‘gezichtsveld’ van de machine komen. Indien deze (optische) beveiliging het gebied alleen ter breedte van de tractor scant, is er geen beveiliging in de breedte van de spuitbomen. Door de spuitbomen kan dan het onverwachte object beschadigd raken of worden de spuitbomen beschadigd door het object. Omdat de werkbreedte van de spuit beperkt is kan een (optische) beveiliging voorop de tractor ook voldoende zijn voor de hele breedte van de machine in werkstand.

### 3.1.7 Conclusies

De implementatie van het Teach & playback systeem op de Boomer tractor is succesvol uitgevoerd. Verschillende onderdelen voor meten van de toestand van de tractor zijn vervangen en aangepast, tevens zijn onderdelen voor de actuatie, het besturen van de tractor toegevoegd. Dit heeft ertoe geleid dat de tractor nu nauwkeurig zijn route kan afleggen nadat deze in de teach modus is ingeleerd. De tractor heeft in autonome modus afwijking loodrecht ten opzichte van de geplande route tussen 0 en 4.5 cm links en rechts van de route. Hiermee is de doelstelling van dit deel van het PPL project bereikt.

De aanpassingen aan de SensiSpray Horti spuitmachine zijn succesvol uitgevoerd. De spuitmachine heeft naar verwachting nu een betere performance tijdens autonoom gebruik doordat roering van de spuitvloeistof continu gewaarborgd is. De sensordata en data over de afgegeven hoeveelheid spuitvloeistof wordt gelogd in datafiles. Deze files kunnen worden ingelezen via Akkerweb.nl, daarmee is een goede koppeling gerealiseerd van sensordata naar bedrijfsmanagement systeem.

## 3.2 Effectiviteitstoetsing

In 2012 is de effectiviteit van bespuitingen met SensiSpray Horti in aardbeien beoordeeld aan de hand van twee dosis- response proeven een praktijkproef. Ook zijn er depositiemetingen gedaan (zie hoofdstuk 3.3). In dit hoofdstuk 3.2 worden de resultaten van de dosis-response proeven beschreven. Als referentie werd variabel doseren met SensiSpray Horti met de concept doseerregels van 2012 toegepast. Het doel van de proef is toetsing effectiviteit van drie doseringen van een fungicide met verschillende SensiSpray Horti instellingen. De proef werd 2 keer uitgevoerd in het seizoen 2012 op aardbeipercelen in het westen van provincie Noord Brabant. Proef 1 werd gedaan in Heerle (Bedrijf Luysterburg) en proef 2 in Rijsbergen (Bedrijf van de Berg). Bij beide telers was het geteelde ras Elsanta.

### 3.2.1 Uitvoering

De proefobjecten werden aangelegd bij begin bloei van de gewassen, op moment dat eerste bespuiting tegen *Botrytis* normaliter gedaan wordt. Het fungicide waarmee getoetst werd, was Switch (Tabel 5). Dit fungicide van Syngenta Crop protection bestaat uit twee actieve stoffen: cyprodinil (37,5%) en fludioxinil (25 %). Met de SensiSpray Horti werden drie objecten aangelegd in 4 herhalingen (4 veldjes per object). Tevens was er een object 'onbehandeld'. De objecten waren:

*Tabel 5. Behandelingen ter bestrijding van vruchtrot in aardbeien.*

| Object/Code | Behandeling | Toelichting |
|---|---|---|
| 1 | Onbehandeld | |
| 2 | Standaard | 1 kg Switch per ha @ 400 L, concentratie 0,25 % w/v |
| 3 | 45 % | 45 % van object 2, concentratie zie object 2 |
| 4 | SensiSpray ** | Variabel doseren o.b.v. NDVI, concentratie middel zie object 2 |

**Bloem beoordeling**

Op de dag dat de proef werd uitgevoerd werden per veldje 40 open bloemen geplukt. De bloemen werden op vochtig filtreerpapier in een Petrischaal gelegd (14 cm diam.). De proef bestond uit 4 behandelingen in 4 herhalingen. In totaal werden 640 bloemen geplukt. De Petrischalen werden gekoeld vervoerd van het proefveld naar Plant Research International in Wageningen en weggezet bij 4°C in de koelcel.

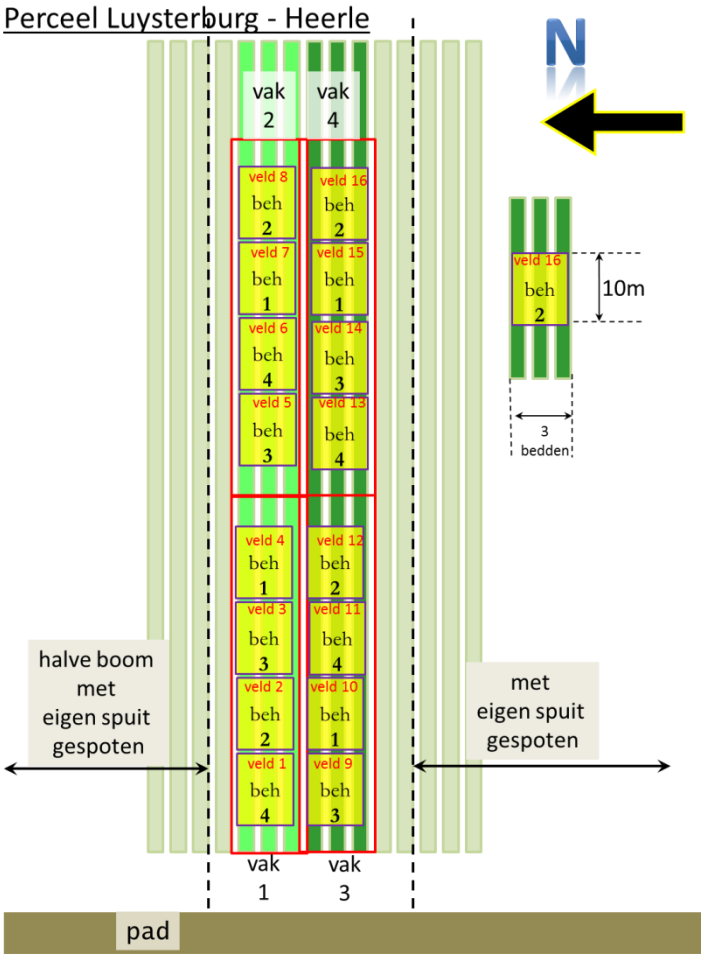
De volgende dag werden per plotje de bloemen in twee Petrischalen geïnoculeerd met een sporensuspensie van *Botrytis cinerea*. De sporendichtheid werd gesteld op 1000 sporen / ml. De sporensuspensie werd verneveld over de kroonbladeren met een DeVilbiss spuit. De bloemen in de beide andere Petrischalen werden met water gespoten. Na inoculatie werden de Petriaschalen geïncubeerd in een Elbanton stoof bij 20.5 °C.
Experiment 1 werd geplukt op 26 juni, geïnoculeerd op 27 juni en op 8 juli werden de bloemen ingevroren bij -20°C.
Experiment 2 werd geplukt op 4 juli, geïnoculeerd op 5 juli en op 16 juli werden de bloemen ingevroren.
In oktober en november werden de bloemen beoordeeld op de aanwezigheid van *Botrytis* op de kroonbladeren en de bloembodem. De beoordeling werd gedaan onder een lichtmicroscoop. Per bloem werd een score geven op de mate van aantasting van de kroonbladeren en de bloemboden op een schaal van 0 tot 5:

score: 0=0% bedekking
score: 1=1-5 % bedekking
score: 2=5-25 % bedekking
score: 3=25-50 % bedekking
score: 4=50-75 % bedekking
score: 5=75-100 % bedekking

De scores werden vervolgens omgezet in een percentage aantasting door de gemiddelde aantasting van de betreffende klasse te nemen. Daarnaast werd ook het % aangetaste bloemen (incidentie) bepaald.

**Vrucht beoordeling**

Op de dag dat de proef werd gespoten werden open bloemen in het veld gelabeld. Gedurende ongeveer 4 weken ontwikkelden de bloemen zich tot rijpe aardbeien. De gelabelde aardbeien werden vervolgens geplukt en koel weggezet gedurende 3 dagen. Vervolgens werden de aardbeien in het uitstalleven gezet bij 15°C. Dagelijks werd de mate van vruchtrot beoordeeld. Aangetaste aardbeien werden verwijderd uit de bakjes in het lab. Daarna werden de bakjes teruggezet in het uitstalleven. In beide experimenten duurde het uitstallen van dag 4 t/m dag 11. De proef werd gestopt op het moment dat meer dan 90% van de aardbeien aangetast waren.
Naast een beoordeling op vruchtrot werd ook nog een beoordeling gedaan op uiterlijke kwaliteit van de aardbeien.




*Figuur 20. Indeling proefveld dosis-response proeven (idem dito schema bij van de Berg).*



*Bespuiting* *monsteren bloemen* *markeren bloemen*

*Figuur 21. Beelden van uitvoering biotoets en bemonstering na bespuiting.*

## 3.2.2 Resultaten

In het experiment is zowel gekeken naar het directe effect van de behandelingen op aantasting van de behandelde delen. In dit geval de kroonbladeren en de bloembodem. Daarnaast is gekeken naar het effect van de behandelingen op de vruchten.

**Bloem beoordelingen**

*Op het moment van plukken bleek de natuurlijke aantasting laag. Zowel de mate van aantasting als het percentage aangetaste plantendelen na inoculatie was vooral in de onbehandelde controles hoog in beide experimenten (Tabel 5 en 6).*

In de natuurlijke situatie zonder inoculatie waren er nauwelijks verschillen tussen de behandelingen. Werd wel geïnoculeerd dan was de effectiviteit van de 45% op de aantasting van de bloembodem significant lager dan de standaard in experiment 2. Bij toepassing van de SensiSpray werd dit effect gevonden op de mate van aantasting in experiment 1.

*Tabel 5. Effect van de behandelingen op aantasting van de kroonbladeren en de bloembodem; experiment 1.*

| Behandeling | Inoculatie | Mate van aantasting | | Percentage aantasting | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | kroonblad | bloembodem | kroonblad | Bloembodem |
| onbehandeld | - | 0.4- | 1.0- | 8.8- | 12.5- |
| standaard | - | 1.4.b | 1.8ab. | 8.8ab | 6.3ab. |
| 45 % | - | 0.0a. | 0.0a.. | 1.3a. | 1.3a.. |
| SensiSpray | - | 0.2ab | 0.5a.. | 6.3ab | 3.8a.. |
| | | | | | |
| onbehandeld | + | 7.6- | 16.0- | 71.3- | 65.0- |
| standaard | + | 0.3ab | 0.7ab. | 6.3ab | 8.8ab. |
| 45 % | + | 1.1.b | 2.6.bc | 12.5.b | 15.0.bc |
| SensiSpray | + | 0.6.b | 2.4..c | 13.8.b | 18.8..c |

*Tabel 6. Effect van de behandelingen op aantasting van de kroonbladeren en de bloembodem; experiment 2.*

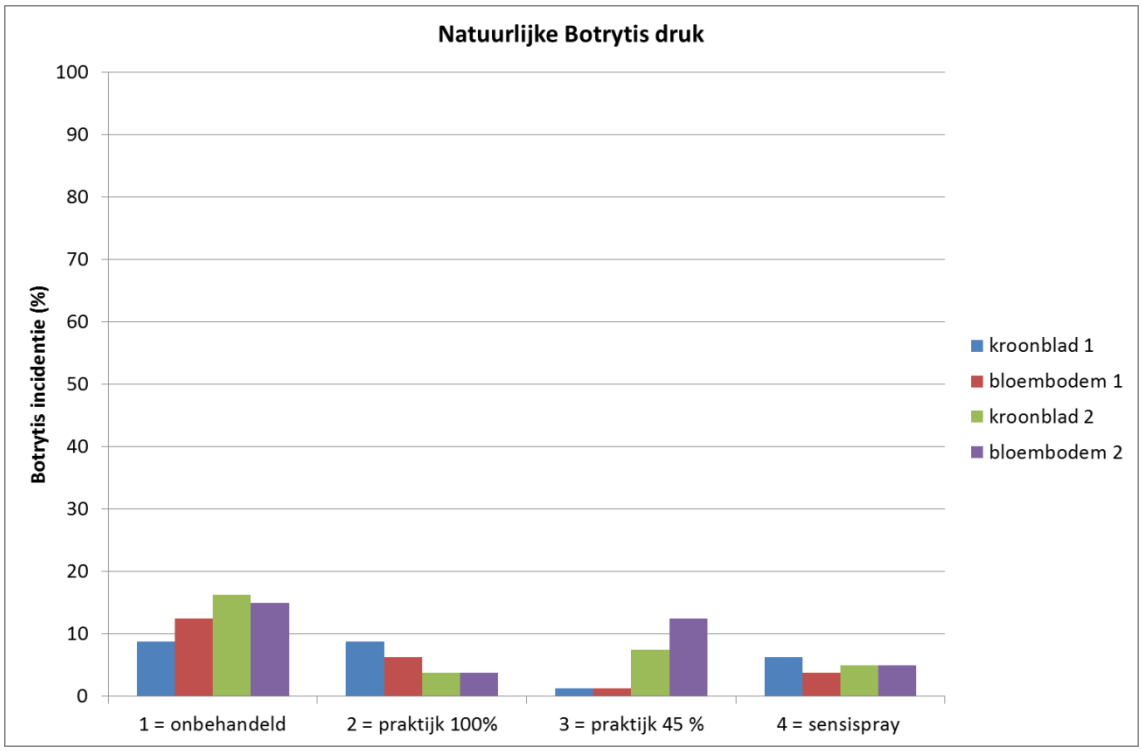
| Behandeling | Inoculatie | Mate van aantasting | | Percentage aantasting | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | kroonblad | bloembodem | kroonblad | Bloembodem |
| onbehandeld | - | 0.9- | 1.3- | 16.3- | 15.0- |
| standaard | - | 0.1a | 0.4a. | 3.8a | 3.8a.. |
| 45 % | - | 0.4a | 1.4ab | 7.5a | 12.5abc |
| SensiSpray | - | 0.2a | 0.6a. | 5.0a | 5.0a.. |
| | | | | | |
| onbehandeld | + | 10.3- | 31.1- | 83.8- | 85.0 |
| standaard | + | 0.5a | 1.9ab | 6.3a | 10.0ab. |
| 45 % | + | 0.4a | 2.8.b | 8.8a | 23.8..c |
| SensiSpray | + | 0.3a | 2.0.b | 6.3a | 22.5.bc |

Tabel 7 geeft de gepoolde resultaten van beide experimenten. In de natuurlijke situatie waren er geen significante verschillen tussen de behandelingen. Alle behandelingen gaven wel een significant beter resultaat dan de onbehandelde controle als het gaat om het percentage aantasting (Figuur 22), maar niet als het gaat om de mate van aantasting.

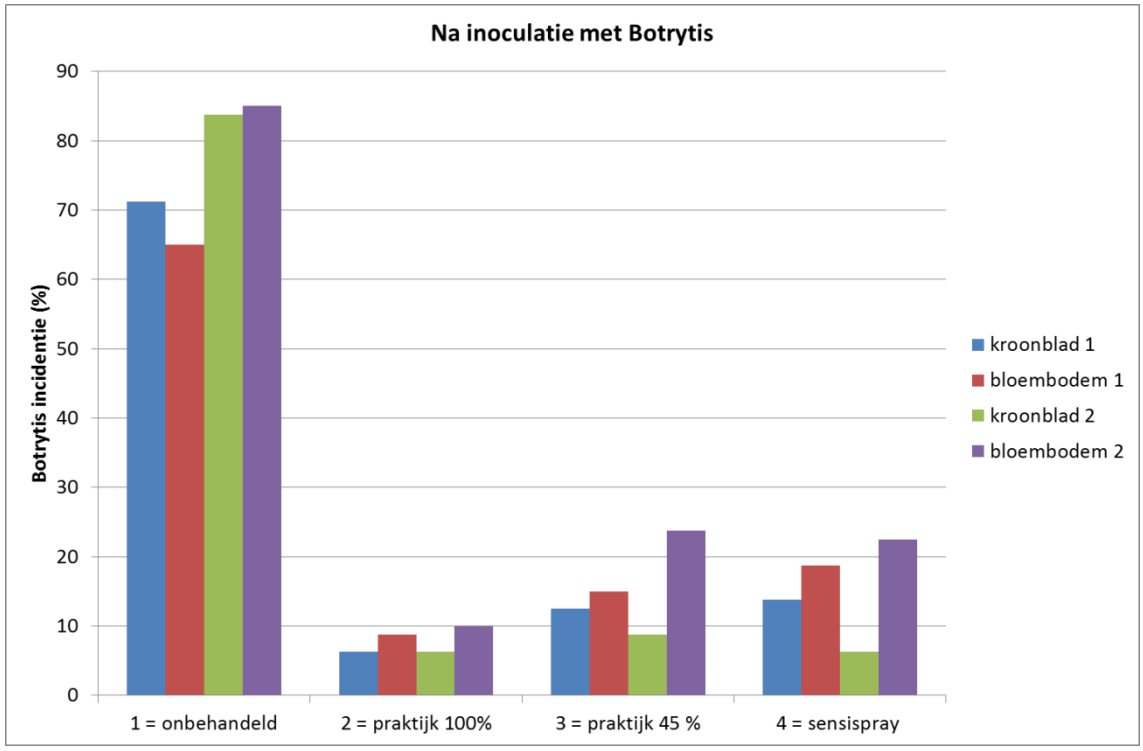
Alle behandelingen gaven een significant beter resultaat dan de onbehandelde controle in geval dat er wel werd geïnoculeerd (Tabel 7 & Figuur ). In z'n algemeenheid kan gesteld worden dat de effectiviteit van de standaard behandeling een beter resultaat gaf dan de 45% dosering en de SensiSpray op aantasting van de bloembodem. De effectiviteit van de beide laatste behandelingen was vergelijkbaar.

*Tabel 7.* *Effect van de behandelingen op aantasting van de kroonbladeren en de bloembodem; experimenten 1 & 2 samen.*

| Behandeling | Inoculatie | Mate van aantasting | | Percentage aantasting | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | kroonblad | bloembodem | kroonblad | Bloembodem |
| onbehandeld | - | 0.7- | 1.1- | 12.5- | 13.8- |
| standaard | - | 0.8ab | 1.1a. | 6.3ab | 5.0a. |
| 45 % | - | 0.2a. | 0.7a. | 4.4a. | 6.9a. |
| SensiSpray | - | 0.2a. | 0.6a. | 5.6ab | 4.4a. |
| | | | | | |
| onbehandeld | + | 8.9- | 23.5- | 77.5- | 75.0 |
| standaard | + | 0.4ab | 1.3a. | 6.3ab | 9.4a. |
| 45 % | + | 0.8.b | 2.7.b | 10.6.b | 19.4.b |
| SensiSpray | + | 0.5ab | 2.2.b | 10.0.b | 20.6.b |




*Figuur 222.* *Effect van de behandelingen op het percentage aangetaste kroonbladeren en bloembodems bij natuurlijke infectie druk in experiment 1 en 2.*




*Figuur 23. Effect van de behandelingen op het percentage aangetaste kroonbladeren en bloembodems na inoculatie met Botrytis in experiment 1 en 2.*

**Vrucht beoordelingen**

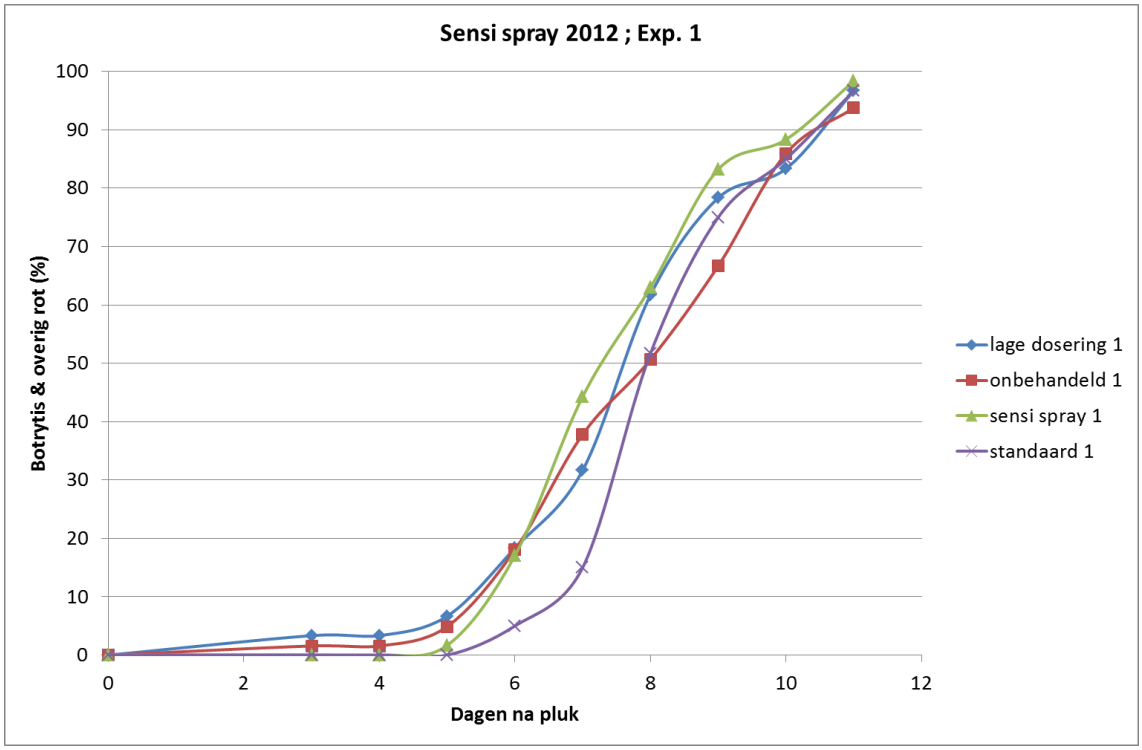
Er werden geen significante effecten gevonden van de behandelingen op kleur, glans, frisheid van de kelk of beschadiging van de vrucht (Tabel 8)). In experiment 1 was de algemene indruk van de onbehandeld wel beter dan de lage dosering en de standaard. In experiment 2 werd dat verschil niet waargenomen.

*Tabel 8. Effect van de behandelingen op de algemene vruchtkwaliteit.*

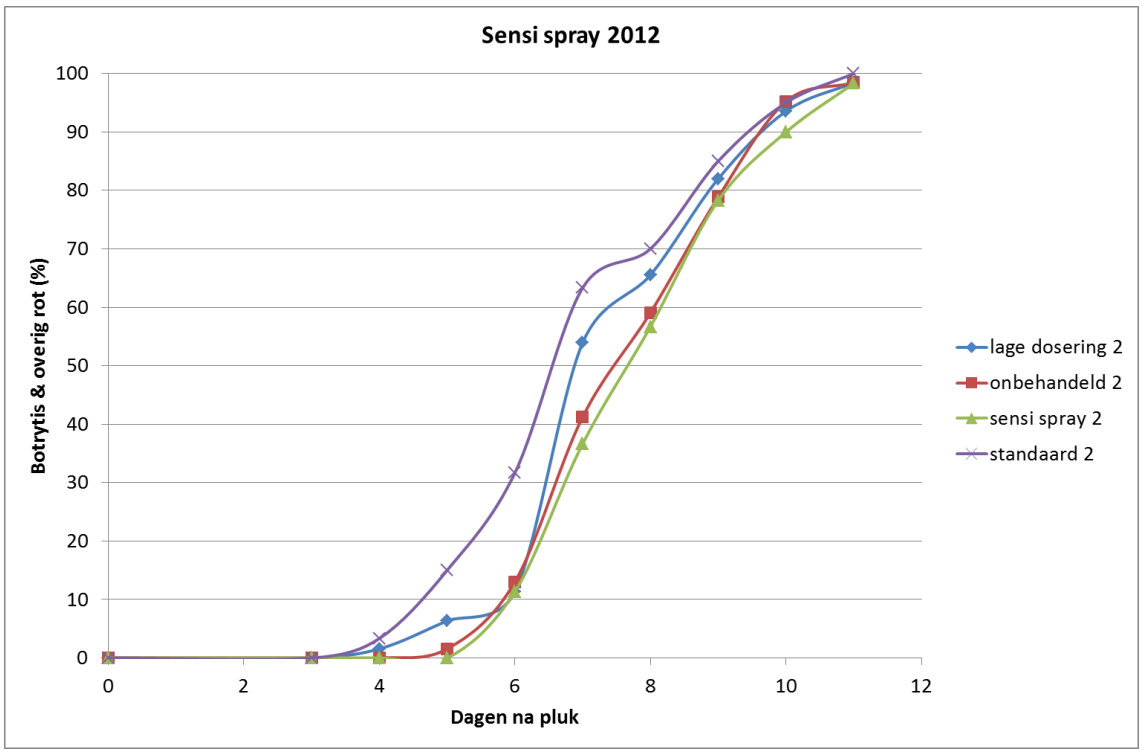
| Behandeling | Exp. 1 | | Exp. 2 | | Exp. 1 + 2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Onbehandeld | 7.8 | . b | 6.4 | a | 7.1 | a |
| Standaard | 6.9 | a . | 6.5 | a | 6.7 | a |
| 45 % | 6.8 | a . | 6.4 | a | 6.6 | a |
| Sensispray | 7.5 | a b | 6.5 | a | 7.0 | a |

[1]) waarden aangeduid met een verschillende letter zijn significant verschillend (P=0.05).

De effecten op vruchtrot in het uitstalleven waren beperkt, gebaseerd op stAUDPC (Tabel 9**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Het verloop van de aantasting in het uitstalleven voor beide experimenten staat in Figuur 24 en 25. In experiment 2 was er echter opvallend veel vruchtrot bij de standaard bespuiting in herhaling 4. In dit experiment kwam de SensiSpray er beter uit dan de standaard bespuiting, maar was er geen verschil ten opzichte van de onbehandelde controle.




*Figuur 24. Cumulatieve aantasting van aardbeien in het uitstalleven, experiment 1.*




*Figuur 25. Cumulatieve aantasting van aardbeien in het uitstalleven, experiment 2.*

*Tabel 9. Effect van de behandeling op vruchtrot uitgedrukt als StAUDPC*

| Behandeling | Exp. 1 | Exp. 2 | Exp. 1 + 2 |
|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Onbehandeld | 28.7 | a | 30.7 | a b | 29.7 | a |
| Standaard | 25.5 | a | 37.6 | . b | 31.5 | a |
| SensiSpray | 31.5 | a | 29.3 | a . | 30.4 | a |
| 45 % | 30.8 | a | 33.0 | a b | 31.9 | a |

Een andere maat om naar effectiviteit te kijken is de tijd die er over heen gaat voordat vruchtrot optreedt. In dit geval is gekeken naar de periode die het duurt voordat 10% van de vruchten is aangetast en 50% van de vruchten (Tabel 10). In experiment 1 had de standaard bespuiting het best uitstalleven, maar in experiment 2 bleef deze juist achter. De beide gecombineerde lieten geen verschillen zien tussen de behandelingen bij het uitstalleven.

*Tabel 10. Effect van de behandelingen op uitstel van het optreden van vruchtrot in het uitstalleven uitgedrukt als LD10 en LD50*

| Behandeling | Exp. 1 | | | | Exp. 2 | | | | Exp. 1 + 2 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LD 10 | | LD 50 | | LD10 | | LD50 | | LD10 | | LD50 | |
| 45 % | 5.4 | a . | 7.7 | a | 5.4 | a b | 7.4 | a b | 5.4 | a | 7.5 | a |
| onbehandeld | 5.7 | a b | 7.9 | a | 6.0 | . b | 7.6 | a b | 5.8 | a | 8.0 | a |
| SensiSpray | 5.8 | a b | 7.6 | a | 6.0 | . b | 7.8 | . b | 5.9 | a | 7.7 | a |
| standaard | 6.7 | . b | 8.2 | a | 5.1 | a . | 6.9 | a . | 5.9 | a | 7.6 | a |

## 3.2.3 Discussie

De natuurlijke aantasting in beide experimenten was op het moment dat gespoten werd laag. Dit bleek uit de lage mate van aantasting van kroonbladeren en bloembodems als deze niet met *Botyrtis* geïnoculeerd werden. Mogelijk is dit ook de oorzaak dat de verschillen tussen de behandelingen bij rijpe vruchten afwezig was. In het laboratorium zijn de vruchten immers niet geïnoculeerd en moest de aantasting komen van natuurlijke infectie.
Het grootste deel van de vruchten werden tijdens het uitstalleven aangetast door *Botrytis* een enkele keer kwam *Penicillium* en *Colletotrichum* voor. Zachtrot schimmels als *Mucor* en *Rhizopus* werden niet waargenomen. Op basis van de vruchten kan geen uitspraak worden over verschillen in effectiviteit van de lage dosering en de SensiSpray ten opzichte van de standaard bespuiting. In ogenschouw moet daarbij worden genomen dat tussen het moment van de bespuiting en het daadwerkelijk plukken een maand verstreken is. In die tussentijd is het gewas ook gespoten.
De bloemen zijn geïnoculeerd met en matige dichtheid aan Botrytis. Het percentage aantasting in de onbehandelde controle was met 65 tot 85% hoog genoeg om van een matige ziektedruk te spreken. Alle behandelingen gaven een significant betere bestrijding dan de onbehandelde controle als er werd geïnoculeerd.
In de niet geïnoculeerde situatie gaven de behandelingen een significant beter resultaat dan de onbehandelde controle als het gaat om het percentage aangetaste plantendelen, maar niet als het gaat om de mate van aantasting. In de beide proeven zijn de bloemen vrijwel direct na de bespuiting geplukt. Dat heeft tot gevolg dat deze bloemen vrijwel niet aan natuurlijke infectiedruk blootgesteld zijn. Dit verklaart waarschijnlijk ook de afwezigheid van significante effecten.
In z'n algemeenheid kan gesteld worden dat als de bloemen wel werden geïnoculeerd de standaard bespuiting een beter resultaat gaf dan bespuiting met een 45% dosering of bespuiting volgens de SensiSpray methode als het gaat om de aantasting door *Botrytis* van de bloembodem. Bij de kroonblad aantasting was deze trend ook waarneembaar, maar de effecten waren niet significant.

**Conclusies**

- De behandelingen hadden geen eenduidig effect op het uitstalleven van de vruchten.
- De mate van natuurlijke ziektedruk was laag, waardoor op basis daarvan geen verschillen in effectiviteit van de behandelingen kon worden waargenomen. Opgemerkt moet worden dat de bloemen slechts gedurende een korte periode na de bespuiting blootgesteld werden aan natuurlijke infectiedruk.

- De bespuitingen gaven significant minder *Botrytis* op de kroonbladeren en de bloembodem dan in op de onbehandelde controle.
- De effectiviteit van de standaard bespuiting was beter dan bespuiting met een 45% dosering of bespuiting volgens de SensiSpray methode bij aantasting van de bloembodem als kunstmatig hoge ziektedruk werd aangebracht in de biotoets. Zonder deze extra ziektedruk was er geen verschil.
- De effectiviteit van de spuitbehandelingen waren vergelijkbaar bij aantasting door *Botrytis* van kroonbladeren na inoculatie.

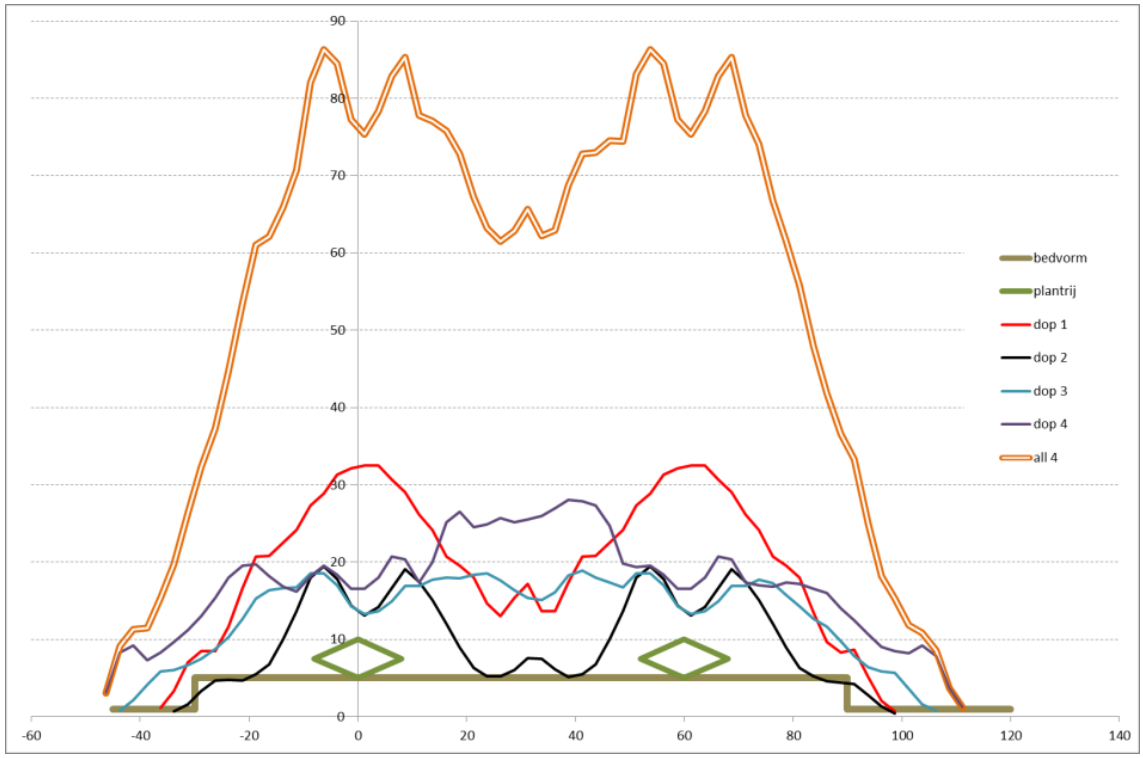
## 3.3 Depositiemetingen

### 3.3.1 Uitvoering

Doel van het toepassen van de SensiSpray Horti in aardbeien was om aan te tonen dat gewasafhankelijk spuiten onder praktijkomstandigheden voordelen heeft ten opzichte van de standaard spuittechniek. Belangrijkste veronderstelde milieu voordeel is het realiseren van een reductie in middelgebruik, bij gelijkblijvende effectiviteit. In 2012 zij diverse depositiemetingen verricht bij verschillende gewasstadia met toepassing van de SensiSpray Horti en de standaardbespuiting als referentie.

*Tabel 11. Dopkeuze voor de SensiSpray Horti in 2012, UniJet 65º tophoek spleetdoppen met de afgifte (l/min) bij 3 bar spuitdruk, het spuitvolume (l/ha) op het bed en de bijdrage van die dop in het totale spuitvolume als alle 4 de doppen tegelijk spuiten bij een rijsnelheid van 6 km/h.*

| | Grootte | Afgifte l/min | Spuitvolume l/ha op bed | Bijdrage dop aan totaal spuitvolume % max |
|---|---|---|---|---|
| Dop 1 | 650067 | 0.27 | 90 | **30%** |
| Dop 2 | 650033 | 0.13 | 43 | 14% |
| Dop 3 | 650050 | 0.20 | 67 | 22% |
| Dop 4 | 650067 | 0.27 | 90 | 30% |
| Som | | 0.87 | **290** | 97% |



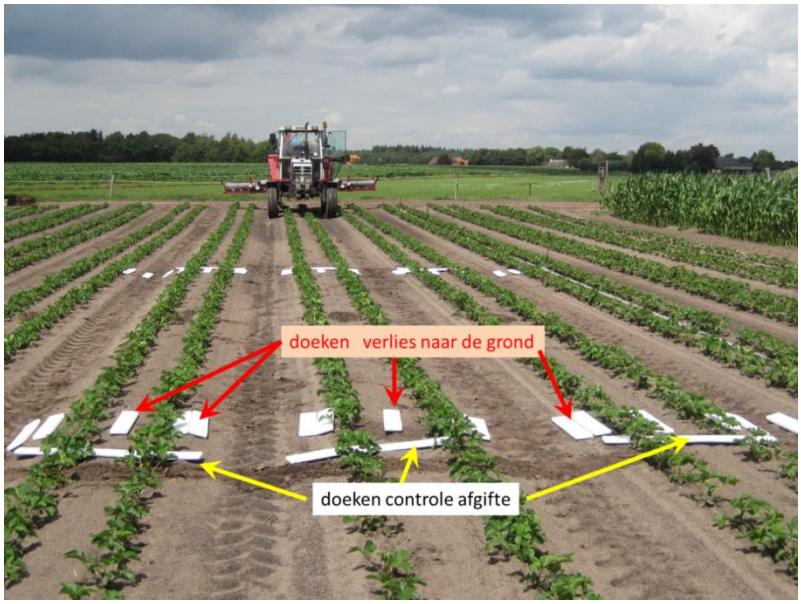

*Figuur 26. spuitvloeistofverdeling van opeenvolgende spuitdoppen, gemeten boven spuitbord en gevisualiseerd boven een aardbeibed en met alle spuitdoppen tegelijk spuitend.*

## 3.3.2 Bespuiting

| Stadium 1 | Stadium 2 | Stadium 3 |
|---|---|---|
| Begin groei (BBCH 19) | Begin bloei (BBCH 65) | Volle productie (BBCH 73) |
|  |  |  |

*Figuur 27. Groeistadia van de aardbeiplanten op drie percelen op 14 juni 2012.*

De gemiddelde temperatuur tijdens de depositiemetingen van de drie gewasstadia van aardbeien op 14 juni 2012 was 16,7°C, de gemiddelde luchtvochtigheid was 46% en de gemiddelde windsnelheid was 2,1 m/s.




*Figuur 28. Posities collectoren in het perceel.*

**Spuitvloeistof**

De tank van de SensiSpray Horti werd gevuld met Agral LN® en 200L leidingwater. Voor, tijdens en na de bespuitingen werden verschillende monsters van deze spuitvloeistof uit de tank of een spuitende dop genomen. Vóór de bespuiting werd er voor gezorgd dat de spuitleidingen voldoende met de spuitvloeistof waren gevuld door de leiding voldoende lang door te spoelen (1 minuut doorspuiten). Na de bespuitingen met de SensiSpray Horti werd de restvloeistof uit de tank van de SensiSpray Horti overgebracht in de tank van de standaardspuit (emmers) zodat de bespuitingen met de standaardmachine uitgevoerd werden met dezelfde tankconcentratie.

**Controle afgifte**

In het veld werden filtercollectoren (*Technofil TF 290, 10x100cm*) dwars over het aardbeienbed uitgelegd, één serie aan het begin van het meetveld en één serie aan het eind van het meetveld, zoals schematisch weergegeven in

**Verlies naar de grond**

Om de depositie naar de grond te meten werden filtercollectoren (*Technofil TF290, 10x50cm*) op het bed tussen de aardbeirijen en in de rijpaden gelegd. Eén serie aan het begin van het meetveld en één serie aan het eind van het meetveld, zoals weergegeven in

**Bemonstering van het gewas**

Na de bespuiting werd van de drie bespoten bedden in het meetveld per gewasrij drie aardbeiplanten bemonsterd. Eerst werd een foto gemaakt (van 1 $m^2$ grondoppervlak) om de bedekkinggraad van de planten op het grondoppervlak vast te leggen en daarna werden de planten boven de grond afgesneden en per bed en per rij in een gecodeerde zak gestopt.

**Analyse**

De filtercollectoren werden individueel in 1L demi geëxtraheerd. Van elke plant werden de bloemen en vruchten afgesneden. Het blad werd per plant in 250 mL demiwater geëxtraheerd. Alle bloemen en vruchten van één plant werden in 50 mL demiwater geëxtraheerd. Van het extract werd een monster fluorimetrisch geanalyseerd met een fluorimeter (Perkin Elmer PE-LS-45) bij extinctie en emissie golflengten van respectievelijk $\lambda_{ex}$=450*nm* en $\lambda_{em}$=500*nm*. Van elke plant werd ook het totale bladoppervlak gemeten met een LiCor bladoppervlaktemeter.

**Verwerking gegevens**

De gemeten fluorescentiewaarde werd omgerekend naar µl.$cm^{-2}$ volgens onderstaande formule.

$$D_{monster} = \frac{\left(F_{monster} - F_{demi} - .F_{blanco}\right) \cdot f_{ijk} \cdot V_{spoel}}{C_{tank} \cdot A_{monster}}$$

$D_{monster}$ = depositie op monster in µL/cm$^2$
$F_{monster}$ = fluorescentiewaarde van het monster
$F_{demi}$ = achtergrondfluorescentie demiwater
$F_{blanco}$ = achtergrondfluorescentie onbehandeld
$f_{ijk}$ = ijkfactor, omrekening van fluorwaarde naar µg/L
$V_{spoel}$ = spoelvolume in L
$C_{tank}$ = concentratie spuitvloeistof in g/L
$A_{monster}$ = monsteroppervlak in cm$^2$

Vervolgens wordt per monster de gemeten depositie uitgedrukt als percentage van het uitgebrachte spuitvolume volgens:

$$P = \frac{D_m}{Q/100} \cdot 100\%$$

$P$ = percentage van uitgebracht spuitvolume
$D_m$ = depositie in µl.cm$^{-2}$
$Q$ = spuitvolume in l/ha

**Logdata**

Tijdens het spuiten werden ook de verschillende parameters in het spuitproces gelogd (*GPS-tijd, GPS-coördinaten, afgelegde weg, rijsnelheid, flow, spuitdruk, luchtdruk, ventilatorsnelheid luchtondersteuning, secties aan/uit, doppen aan/uit, NDVI, Vegetatie index, target dose, actual dose*) met een frequentie van 1 keer per seconde, wat bij de toegepaste rijsnelheid van 1 m/s één meting per meter opleverde.

**Statistische analyse**

De depositiemetingen zijn statistisch getoetst door een variantieanalyse (Genstat) met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

## 3.3.3 Resultaten

**Sensordata**

De standaardmachine gaf op 14 juni 2012 een depositie van gemiddeld ongeveer 2 µL/cm$^2$, ofwel 200 L/ha. De Sensispray heeft bij het eerste stadium 145 L/ha uitgebracht en bij stadium 2 en 3 ongeveer 200 L/ha. Kennelijk was er weinig onderscheid tussen stadium 2 en 3, alhoewel de gemeten NDVI aangeeft dat de spuitvolumes respectievelijk 190 l/ha en 230 l/ha waren (Tabel 12). In het pad gaf de SensiSpray Horti duidelijk een lagere depositie, een kwart van de depositie boven het bed. De depositie op het blad bij de SensiSpray Horti is bij alle 3 de stadia vergelijkbaar met de standaardbespuiting. Dit geldt ook voor de depositie op bloem en vrucht alhoewel dat wat moeilijker is te interpreteren. De Sensispary Horti gaf dus minder verlies naar het pad tussen de bedden, maar ook de depositie naar de grond onder/tussen het gewas was bij stadium 2 en 3 lager. Bij stadium 1 was de depositie onder het gewas gelijk aan de depositie boven het gewas.

*Tabel 12. Gemiddeld gemeten NDVI per gewasstadium met daarbij volgens de rekenregel de dosering van het middel (kg.ha$^{-1}$) en het spuitvolume (L.ha$^{-1}$).*

| Dag | Gewas stadium | Gemiddeld gemeten NDVI | Volgens rekenregel | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dosering actieve stof | Spuitvolume |
| | | | % | L/ha |
| 14 juni | 1 | 0,38 | 47 | 140 |
| | 2 | 0,57 | - (>50) | 190 |
| | 3 | 0,72 | - (>50) | 230 |

*Tabel 13. De gemiddelde meetwaarden van de hoeveelheid uitgebrachte spuitvloeistof (µL.cm$^{-2}$ ) boven het gewas en de hoeveelheid onder het gewas en in de rijpaden, en de depositie op het aardbeiblad, op de bloem (µL) en op de vrucht (µL.g$^{-1}$) van de aardbei.*

| Dag | Techniek | Stadium | Depositie in µL.cm$^{-2}$ | | | | µL op bloem | µL per g aardbei |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Boven gewas | Onder gewas | In pad | Op blad | | |
| 14 juni | Standaard | 1 | 1,90 | 2,09 | 2,10 | 0,53 | - | - |
| | | 2 | 2,04 | 1,98 | 2,35 | 0,82 | 1,3 | 1,05 |
| | | 3 | 1,96 | 1,64 | 2,17 | 0,62 | 1,1 | 0,38 |
| | SensiSpray Horti | 1 | 1,45 | 1,57 | 0,47 | 0,48 | - | - |
| | | 2 | 2,06 | 1,26 | 0,58 | 0,76 | 1,1 | 0,67 |
| | | 3 | 2,13 | 1,06 | 0,55 | 0,68 | 0,8 | 0,22 |

*Tabel 14. Berekening reductie depositie op grondoppervlak samengeteld uit depositie op het bed en in de paden ertussen.*

| | | Bed | | Pad | | | St = 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Techniek | Stadium | Breedte | Depo_B | | Depo_P | Depo_T | Rel |
| | | [m] | µL | [m] | µL | µL | % |
| Standaard | 1 | 1.3 | 272 | 0.3 | 63 | 335 | 100 |
| | 2 | 1.3 | 257 | 0.3 | 71 | 328 | 100 |
| | 3 | 1.3 | 213 | 0.3 | 65 | 278 | 100 |
| SensiSpray Horti | 1 | 1.3 | 204 | 0.3 | 14 | 218 | 65 |
| | 2 | 1.3 | 164 | 0.3 | 17 | 181 | 55 |
| | 3 | 1.3 | 138 | 0.3 | 17 | 154 | 55 |

In stadium 1 is de totale depositie op grondoppervlak bij de SensiSpray Horti 35% lager dan bij de standaard spuit. In de gewasstadia 2 en 3 is de reductie in depositie op grondoppervlak 45%. Hierdoor neemt het risico voor uitspoeling en drainage naar grond- en oppervlaktewater ook met 35% tot 45% af doordat er met de SensiSpray Horti minder spuitvloeistof op grondoppervlak terecht komt.

*Tabel 15. Vergelijking tussen berekende hoeveelheid spuitvolume en de gemeten hoeveelheid uitgebracht*

| Dag | Stadium | Berekend | Gemeten | | Verhouding-% |
|---|---|---|---|---|---|
| | | [L.ha$^{-1}$] | [µL.cm$^{-2}$] | [L.ha$^{-1}$] | Meetwaarde/berekend |
| 14 juni | 1 | 140 | 1.45 | 145 | 104 |
| | 2 | 190 | 2.06 | 206 | 108 |
| | 3 | 230 | 2.13 | 213 | 93 |

Er is verschil tussen de op basis van de gemiddelde sensorwaarden berekende afgifte en de gemeten afgifte, maar het ontloopt elkaar niet veel. Verschillen kunnen optreden doordat er geen direct verband is tussen de plaats van de gemeten depositie en de daar gemeten NDVI.

### 3.3.4 Conclusies

De doelstelling van Canopy Density Spraying (CDS) in aardbeien waren om te laten zien - onder praktijkomstandigheden - dat gewasafhankelijk spuiten voordelen heeft. Deze voordelen voor milieu zijn aangetoond door vast te stellen dat minder spuitvloeistof nodig is om een vergelijkbare bedekkingsgraad in de praktijk te halen.

De depositie op het blad bij de SensiSpray Horti is bij alle 3 de stadia vergelijkbaar met de standaardbespuiting. Dit geldt ook voor de depositie op bloem en vrucht alhoewel dat wat moeilijker is te interpreteren. De SensiSpray Horti gaf minder verlies naar het pad tussen de bedden, maar ook de depositie naar de grond onder/tussen het gewas was bij gewasstadium 2 en 3 lager.

In gewasstadium 1 (BBCH19) is op basis van de Greenseeker sensor waarden het spuitvolume van de SensiSpray Horti 140 l/ha, dit is een besparing aan spuitvolume van 54% ten opzichte van de praktijkdosering van 300 L/ha. In gewasstadium 2 (BBCH65) was volgens de rekenregel en gemeten NDVI van de Greenseeker sensor het spuit-volume 190 l/ha en in gewasstadium 3 (BBCH73) 230 l/ha wat een besparing van het spuitvolume opleverde van respectievelijk 37% en 23%. Wordt hierin ook meegenomen dat boven de paden de spuitdoppen uit stonden dan zijn de reducties in middelgebruik op het bed voor de drie gewasstadia van de aardbeiplanten respectievelijk 62%, 49% en 38%.

In gewasstadium 1 van de aardbeiplanten (BBCH 19) is de totale depositie op grondoppervlak bij de SensiSpray Horti 35% lager dan bij de standaard spuit. In de gewasstadia 2 (BBCH 65) en 3(BBCH 73) is de reductie in depositie op grondoppervlak 45%. Hierdoor neemt het risico voor uitspoeling en drainage naar grond- en oppervlaktewater ook met 35% tot 45% af doordat er met de SensiSpray Horti minder spuitvloeistof op grondoppervlak terecht komt.

*Tabel 16. Uitgebracht spuitvolume (liter) op het aantal aardbei bedden en de daaruit berekende dosering spuitvolume (l/ha) en het % reductie in gebruikt spuitvolume ten opzichte van de praktijk spuit (300 l/ha)*

| | liter | aantal bedden | Oppervlakte bed (m$^2$) | Spuitvolume (l/ha) | % volume reductie |
|---|---|---|---|---|---|
| 30-5-2012 | 50 | 18 | 3888 | 129 | 57 |
| 2-6-2012 | 40 | 12 | 2592 | 154 | 49 |
| 9-6-2012 | 40 | 12 | 2592 | 154 | 49 |
| 14-6-2012 | 40 | 12 | 2592 | 154 | 49 |
| 18-6-2012 | 40 | 12 | 2592 | 154 | 49 |
| 21-6-2012 | 50 | 12 | 2592 | 193 | 36 |

Worden de spuitvolumereducties van de precisiespuit vertaald naar een potentiële reductie aan middelgebruik over het hele groeiseizoen van de aardbeien dan wordt de totale hoeveelheid middelgebruik van 34,3 l/ha verlaagd naar 17,0 l/ha. Dit is een reductie aan middelgebruik van 50%.

# 4. Resultaten Fase 4: Praktijktoetsing en demonstratie van prototype

## 4.1 Praktijktoetsing

In 2013 werd een validatie- en demonstratieproef uitgevoerd op een aardbeibedrijf in Heerle (bedrijf van René Luysterburg). In deze proef werden ook effectiviteitsbeoordelingen gedaan. Op een praktijkperceel gelegen naast het erf en de bedrijfsgebouwen werd variabel doseren met de autonome precisiespuit vergeleken met bespuiten volgens gangbare praktijk. Van beide systemen kan een goed beeld gekregen worden als naar de media gekeken wordt die in paragraaf 4.3 genoemd staan.
Op het perceel werden 8 banen behandeld met variabel doseren gedurende het groeiseizoen van 2013 (zie Figuur 31). Het aarbeienras was Elstana. Het werd geplant medio mei 2013. Er werd een serie van acht bespuitingen met de precisiespuit uitgevoerd, met een interval van ca. 5 dagen. Op dezelfde data werden ook gangbare praktijk bespuitingen gedaan (het resterende deel van het perceel). De dagen waarop variabel gedoseerd is, waren 5 en 20 juni, en 8, 12, 18, 22, 25 en 31juli. De fungiciden Teldor, Signum en Switch werden voornamelijk ingezet tegen *Botrytis*. In augustus werd gestopt met variabel doseren met de precisiespuit vanwege beschadiging van bloemstengels die de rijpaden ingroeiden. Bij de autonome precisiespuit was er meer verkeer door het gewas dan bij gangbare praktijk.

*Tabel 16B. Inzet middelen in de praktijkproef met SensiSpray Horti in aardbei in 2013, t.o.v. gangbare praktijk. Relatieve dosering is de dosering van het SensiSpray Horti object op de betreffende datum uitgedrukt in een % van de praktijkdosering.*

| Datum | Middelen (1 - 3) | | | Dosering praktijk (L of Kg per ha) | | | Relatieve dosering |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | SensiSpray Horti |
| 20-jun | Teldor | Decis | | 1,2 | 0,2 | | 31 |
| 8-jul | Signum | Decis | | 1,0 | 0,2 | | 49 |
| 12-jul | Signum | Decis | | 1,0 | 0,2 | | 54 |
| 18-jul | Teldor | Decis | Inca | 1,2 | 0,2 | 1,0 | 72 |
| 22-jul | Teldor | Decis | Flint | 1,2 | 0,2 | 0,125 | 75 |
| 25-jul | Switch | | | 1,0 | | | 80 |
| 31-jul | Teldor | Decis | | 1,2 | 0,2 | | 85 |

Op 5 juni kreeg de teler uitleg over hoe de autonome precisiespuit in te voeren. Bij die eerste bespuiting werd de SensiSpray Horti ingesteld op 300 L spuitvloeistof per ha. Het daadwerkelijke spuitvolume was ca. 65 L per ha op die dag. Na de instructie over inzet van de autonome precisiespuit heeft de teler de andere bespuitingen en demonstraties zelf uitgevoerd. De eerste twee keer heeft de teler daarbij de autonome spuit steeds nauwgezet in de gaten gehouden. Om zo indien nodig met de afstandsbediening in te kunnen grijpen. Na de derde keer was er voldoende vertrouwen bij hem en werd niet meer continu met het oog inspectie gehouden op de autonome spuit. In de ruim 10 keer dat de autonome spuit getest is op de 8 banen op het praktijkperceel, heeft de machine steeds naar tevredenheid gewerkt. Dit wil zeggen, de machines is steeds over het kavelpad naar het begin van de 8 banen gereden, aldaar aangekomen heeft hij de banen gevolgd en gespoten volgens het SensiSpray Horti advies, en is vervolgens teruggereden naar het erf. De capaciteit van de geteste versie van SensiSpray Horti is ca. 2-2,5 ha per uur bij een rijsnelheid van 5-6 km per uur. Een spuit met een spuitboom van 30 m breed bij vergelijkbare rijsnelheid heeft, afhankelijk van grootte van perceel, een capaciteit van 10-18 ha per uur.

In Figuur 31 wordt een screendump van het Akkerweb programma getoond van de gelogde spuitgegevens van de bespuiting op 8 juli 2013. Bij eerste bespuiting de reductie 75%. Verder in het seizoen daalde de reductie tot 15%. Gemiddelde reductie in middelverbruik was meer dan 36 % bij inzet van SensiSpray Horti t.o.v. gangbare praktijk. Een lastig punt dat geconstateerd werd in de praktijkproef was het vooraf goed inschatten van de aan te maken hoeveelheid spuitvloeistof. Als te veel aangemaakt werd, zat de teler met restvloeistof. Op voorhand mistte de info over de aan te maken hoeveelheid. Hiervoor dient advies ontwikkeld te worden.
De effectiviteitsbeoordeling van de praktijkproef (vergelijking gangbare praktijk versus SensiSpray Horti) staat in paragraaf 4.1.1 en verder. De teler was tevreden over de effecten van de gewasbeschermingsmiddelen in zowel het Praktijkdeel als in het SensiSpray deel (visuele inspectie). De reductie in middelgebruik met behoud van werking vond hij een groot pluspunt.

### 4.1.1 Proefobjecten

Standaard praktijk werden de aardbeien gespoten met 400 L spuitvloeistof per hectare. De proefobjecten staan in Tabel 17 samengevat. Gespoten werd met verschillende middelen en doseringen (Tabel 16B). De tankmix concentraties werden afgestemd op de spuitvolumes (400 L per ha bij praktijk, 300 L per ha met SensiSpray Horti). Met de SensiSpray Horti werd bijvoorbeeld op 8 juli met 160 L per ha gespoten, wat overeenkomt met een reductie van afgerond 50% t.o.v. de dosering in de gangbare praktijk. De ligging van de 8 spuitbanen van de SensiSpray Horti is te zien op Figuur 31. Het overige deel van het perceel werd behandeld met de praktijkmachine zoals te zien op de film die in 4.3.3 genoemd wordt. Onbehandelde planten, die in de biotoets als positieve referentie gebruikt werden, werden verzameld uit een perceel in de buurt

*Tabel 17. Behandelingen ter bestrijding van vruchtrot in aardbeien.*

| Code | Behandeling |
|---|---|
| 1 | Praktijk (middelen, zie tabel 16B) |
| 2 | SensiSpray (als Tabel 16B, maar dan volgens doseerregel SensiSpray Horti 300 L per ha |
| 3 | Onbehandeld |

### 4.1.2 Bloembeoordeling

Op de dag dat de proef werd uitgevoerd werden per veldje 40 open bloemen geplukt. De bloemen werden op vochtig filtreerpapier in een Petrischaal gelegd (14 cm diam.). De proef bestond uit 4 behandelingen in 4 herhalingen. In totaal werden 640 bloemen geplukt. De Petrischalen werden gekoeld vervoerd van het proefveld naar Plant Research International in Wageningen en weggezet bij 4°C in de koelcel.
De volgende dag werden per plotje de bloemen in drie Petrischalen geïnoculeerd met een sporensuspensie van *Botrytis cinerea*. De sporendichtheid werd gesteld op 1000 sporen / ml. De sporensuspensie werd verneveld over de kroonbladeren met een DeVilbiss spuit. De bloemen in de andere Petrischalen werden met water gespoten. Na inoculatie werden de Petriaschalen geïncubeerd in een Elbanton stoof bij 20.5 °C.
De bloemen werden geplukt op 8 juli, geïnoculeerd op 9 juli en op 19 juli werden de bloemen ingevroren bij -20°C. In juli werden de bloemen beoordeeld op de aanwezigheid van *Botrytis* op de kroonbladeren, de bloembodem en de kelkbladren. De beoordeling werd gedaan onder een lichtmicroscoop. Per bloem werd een score geven op de mate van aantasting van de kroonbladeren, de bloemboden (hart) en de kelkbladeren op een schaal van 0 tot 5:

score: 0=0% bedekking
score: 1=1-5 % bedekking
score: 2=5-25 % bedekking
score: 3=25-50 % bedekking
score: 4=50-75 % bedekking
score: 5=75-100 % bedekking

De scores werden vervolgens om gezet in een percentage aantasting door de gemiddelde aantasting van de betreffende klasse te nemen. Daarnaast werd ook het % aangetaste bloemen (incidentie) bepaald.

## 4.2 Resultaat

In het experiment is zowel gekeken naar het directe effect van de behandelingen op aantasting van de behandelde delen. In dit geval de kroonbladeren en de bloembodem. Daarnaast is gekeken naar het effect van de behandelingen op de vruchten.

### 4.2.1 Bloembeoordelingen

In de proef trad enige natuurlijke infectie op, maar de mate van aantasting was laag (Tabel 18 en Figuur 29). De mate van aantasting in de geïnoculeerde objecten was significant hoger dan bij de natuurlijke infectie.
De praktijk bespuiting was onder natuurlijke infectiedruk beter als de onbehandelde controle. Bij de SensiSpray was dat wel het geval bij de kroonbladwaarneming, maar niet significant bij beoordeling van de bloembodem en de kelkbladeren. Dit kwam ook min of meer zo tot uiting als gekeken werd naar het percentage aantasting (Tabel 20). Werd wel geïnoculeerd met *Botrytis* dan was het onderscheidt tussen de objecten scherper. In de onbehandelde controle was zowel de mate van aantasting (Tabel 17; Figuur 30) als de incidentie (Tabel 21) hoger dan de in de behandelde objecten. Waar gespoten werd volgens SensiSpray was de mate van aantasting significant lager dan bespuiting volgens de praktijk (Tabel 1719). Bij incidentie was dat alleen het geval als gekeken werd naar de kroonbladeren, maar niet bij de bloembodem of de kelk bladeren.

*Tabel 18 Effect van de behandelingen op de mate van aantasting van de kroonbladeren, de bloembodem en de kelkbladeren bij natuurlijke infectiedruk.*

| Behandeling | Inoculatie | Mate van aantasting | | |
|---|---|---|---|---|
| | | kroonblad | bloembodem | kelkblad |
| Onbehandeld | - | 5.9.b | 5.4.b | 6.2.b |
| Praktijk | - | 0.2a. | 0.8a. | 1.1a. |
| SensiSpray | - | 1.5a. | 1.8ab | 2.7ab |

*Tabel 179. Effect van de behandelingen op de mate van aantasting van de kroonbladeren, de bloembodem en de kelkbladeren na inoculatie met Botrytis cinerea.*

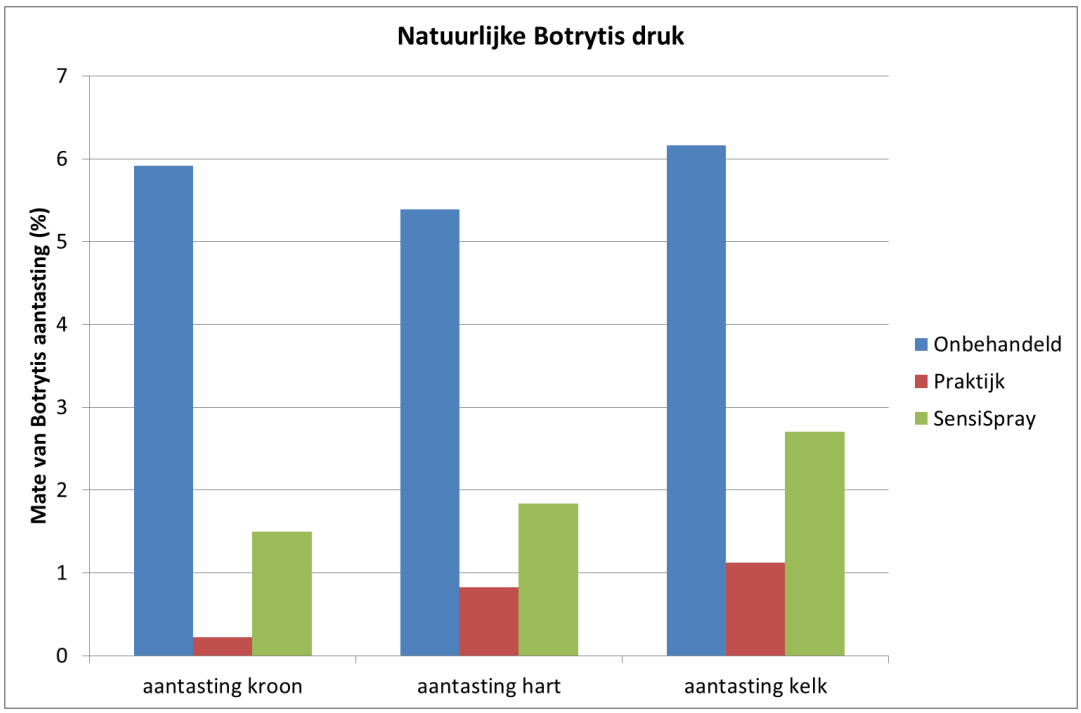
| Behandeling | Inoculatie | Mate van aantasting | | |
|---|---|---|---|---|
| | | kroonblad | bloembodem | kelkblad |
| Onbehandeld | + | 22.0..c | 31.6..c | 27.8..c |
| Praktijk | + | 7.4.b. | 14.4.b. | 12.9.b. |
| SensiSpray | + | 3.8a.. | 8.5a.. | 5.0a.. |

*Tabel 20. Effect van de behandelingen op het percentage aangetaste kroonbladeren, bloembodems en kelkbladeren bij natuurlijke infectie.*

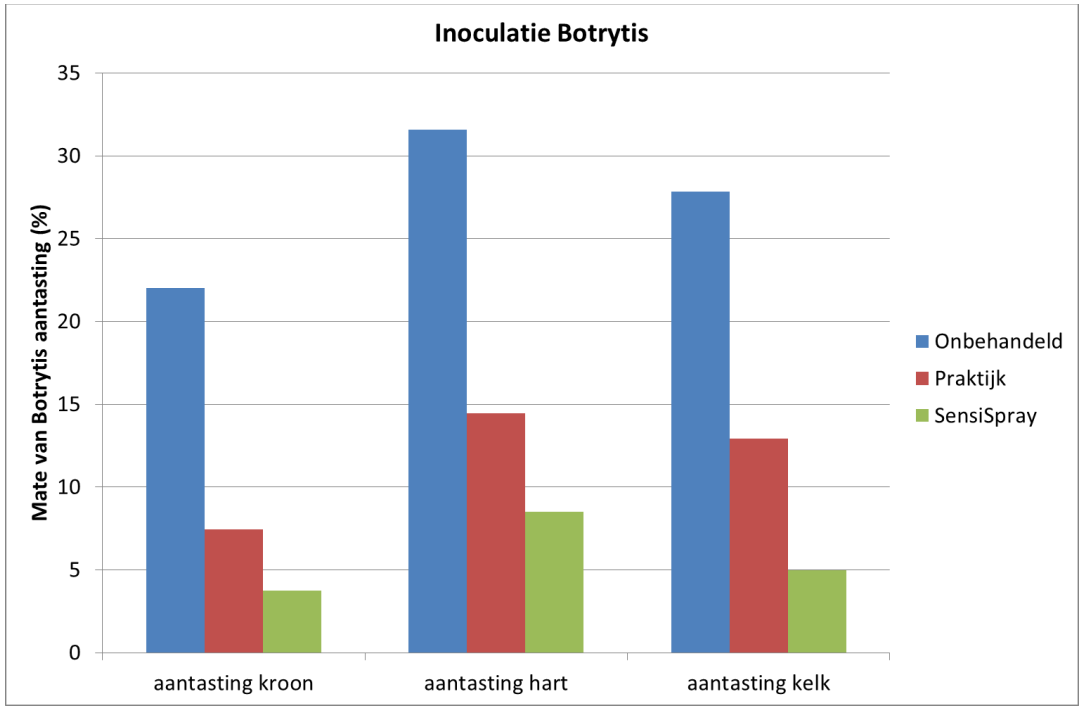
| Behandeling | Inoculatie | Percentage aantasting | | |
|---|---|---|---|---|
| | | kroonblad | bloembodem | kelk |
| Onbehandeld | - | 30.0.b | 22.5a | 27.5.b |
| Praktijk | - | 7.5a. | 7.5a | 7.5a. |
| SensiSpray | - | 10.0a. | 12.5a | 12.5ab |

*Tabel 21.* *Effect van de behandelingen op het percentage aangetaste kroonbladeren, bloembodems en kelkbladeren na inoculatie met Botrytis cinerea.*

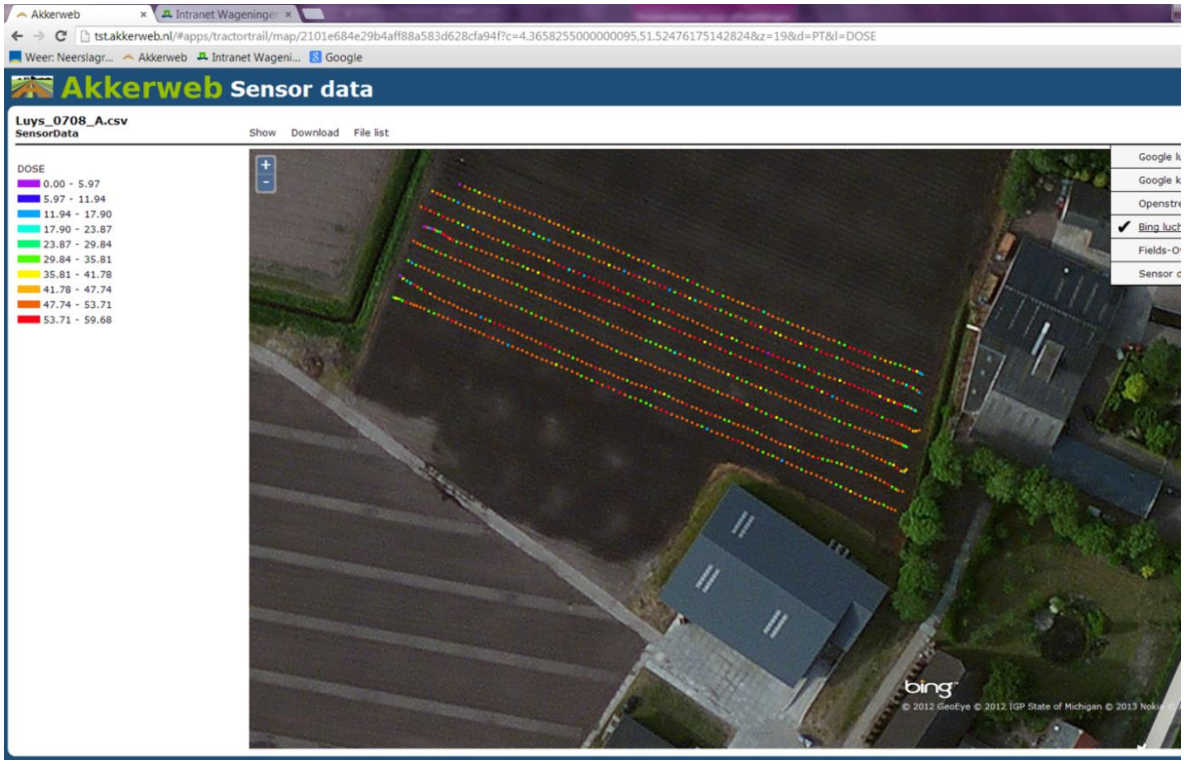
| Behandeling | Inoculatie | Percentage aantasting | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Kroonblad | bloembodem | kelk |
| Onbehandeld | + | 94.2..c | 92.5.b | 90.8.b |
| Praktijk | + | 42.5.b. | 45.8a. | 41.7a. |
| SensiSpray | + | 30.0a.. | 51.7a. | 31.7a. |




*Figuur 29.* *Effect van de behandelingen op het percentage aangetaste kroonbladeren, bloembodems (hart) en kelkbladeren bij natuurlijke infectie druk.*




*Figuur 30.* *Effect van de behandelingen op het percentage aangetaste kroonbladeren, bloembodems (hart) en kelkbladeren na inoculatie met Botrytis.*




*Figuur 31.* *As applied kaart van dosering Teldor op 8 juli 2013 in de praktijproef. Het percentage spuitvolume t.o.v. 300 Liter per ha wordt weergegeven. Globaal werd op deze datum met 160 L spuitvloeistof per ha gespoten.*

## 4.3 Discussie en conclusies

De natuurlijke aantasting was op het moment dat gespoten werd laag. Dit bleek uit de lage mate van aantasting van kroonbladeren, bloembodems en kelkbladeren als deze niet met *Botyrtis* geïnoculeerd werden. De aantasting was wel lager als de bloemen gespoten waren volgens SensiSpray of praktijk. Over het algemeen was de praktijk hier iets beter dan de SensiSpray. Mogelijk heeft dit te maken met het gebruikte middel (Teldor), de dosering die toegepast werd en het feit dat het in dit geval waarschijnlijk om een curatief effect gaat. Over het algemeen is het zo dat in een curatieve situatie doseringsverlaging een verminderde effectiviteit laat zien.

Werd na de bespuiting de bloemen geïnoculeerd dan gaf de SensiSpray in de mate van aantasting een beter resultaat dan de praktijkspuit. Opgemerkt moet worden dat met een beperkte ziektedruk werd gewerkt, wel werden in de onbehandeld vrijwel alle bloemen aangetast. Gesteld kan worden dat de inoculatie geslaagd is.

De relatie tussen de aantasting van de verschillende bloemonderdelen en het optreden van vruchtrot in het uitstalleven is niet exact bekend. Aangenomen mag worden dat naarmate meer bloemen aangetast zijn of de aantasting zwaarder is, vruchtrot van aardbeien meer en sneller zal optreden.

Conclusies

- De mate van natuurlijke ziektedruk was laag.
- De bespuitingen gaven significant minder *Botrytis* op de kroonbladeren en de bloembodem dan in op de onbehandelde controle, zowel bij natuurlijke infectie als na inoculatie.
- De effectiviteit van de SensiSpray Horti was beter dan de praktijk spuitbehandelingen bij de mate van aantasting van kroonbladeren, bloembodems en kelkbladeren aantasting door *Botrytis*.
- De effectiviteit van de SensiSpray Horti was beter dan de praktijk spuitbehandelingen bij de incidentie van

kroonbladeren door *Botrytis*. Voor de aantasting van de bloembodem en kelkbladeren was er geen significant verschil waarneembaar tussen de SensiSpray behandeling en de praktijkspuit.

## 4.4 Kennisverspreiding

### 4.4.1 Presentatie tijdens Aardbeiendemodagen

De jaarlijkse aardbeiendemodag is een initiatief van LTO en DLV Plant ten dienste van aardbeientelers. De beurs richt zich ook op toeleveringsbedrijven en adviseurs in de sector.

Op 7 september 2012 is de autonome precisiespuit gedemonstreerd op de AardbeienDemodag, gehouden op het bedrijf van aardbeienteler Mario van Meer in Etten-Leur. Op deze dag is alleen de techniek getoond. De machine heeft toen niet autonoom gereden.
Aantal bezoekers: ca. 400.

Op 6 september 2013 is de autonome precisiespuit gedemonstreerd op de AardbeienDemodag, gehouden op het bedrijf van de gebroeders van Gennip (Genson BV Soft Fruit Plants) in Sint Oedenrode. In het demomagazine is een artikel verschenen onder de titel: *Autonome precisiespuitmachine is in ontwikkeling* (pag. 16-17).
Aantal bezoekers: ca. 450



*Figuur 00. Demonstratie van de autonome precisiespuit op de AardbeienDemodagen 2012 en 2013.*

### 4.4.2 Presentatie tijdens PotatoEurope

Op 11 en 12 september 2013 is de autonome precisiespuit gedemonstreerd op PotatoEurope in Emmeloord. PotatoEurope is 's werelds grootste aardappelevenement. Het bestaat uit een internationale beurs, velddemonstraties en machinedemonstraties. Tijdens de demonstratie heeft de staatssecretaris van landbouw, mevrouw Sharon Dijksma, op 11 september d.m.v. de afstandsbediening de start gegeven voor de demonstratie van de autonome precisiespuit op het demonstratieterrein.
Aantal bezoekers: ca 15.000 uit 49 landen. Eén derde van het bezoekersaantal kwam uit het buitenland.

## 4.4.3 Publicaties en filmmateriaal

**Eindrapport: (1)**

Kempenaar, C., Michielsen, J.M., Nieuwenhuizen, A.T., 2013. Ontwikkeling van een autonome precisiespuit voor de aardbeienteelt in de volle grond. Rapport 540. Plant Research International. Wageningen. 56 pagina's.

**Website-publicaties: (> 3)**

http://www.precisielandbouw.eu/index.php/dossiers/85-autonomeaardbeienspuit
Ook filmpjes op YouTube, o.a.
http://www.boerderij.nl/Mechanisatie/Foto-Video/2013/9/Robottrekker-rijdt-en-spuit-zelfstandig-1369351W/?cmpid=NLClboerderij_akkerbouwl2013-09-20lRobottrekker_rijdt_en_spuit_zelfstandig
En melding demodag
http://www.demodagenplant.nl/www/aardbeien_demodag.htm

**Vakbladartikel:(3)**

Bus, J., 2013. Precisiespuit. Autonome spuit is niet altijd autonoom. LTO Vollegrondsgroente.net. Van de Grond: aardbei & asperge, p. 25

Kempenaar, C., 2013. Autonome precisiespuitmachine is in ontwikkeling. Demomagazine Aardbei demodag 2013, pp. 16-17.

Kempenaar, C., 2012. Ontwikkeling autonome precisiespuitmachine voor aardbeienteelt. Demomagazine Aardbei demodag 2012.

**Wetenschappelijk artikel: (o.a.)**

KEMPENAAR, C., MICHIELSSEN, J.M., VAN DE ZANDE, J.C., 2012. Algorithms for variable rate application of crop protection products. Paper and presentation at the Symposium on International Advances in Pesticide Application by the Association of Applied Biologists. In:. Aspects of Applied Biology 114, 2012: 99-104.

**Open dagen/lezingen: (4)**

Aardbei demodag 2012, Etten-Leur. 7 september 2012. Presentatie en demonstratie autonome precisiespuit. Ruim Ca. 400 bezoekers, telers en teeltadviseurs

Aardbei demodag 2013, Sint Oedenrode. 6 september 2013. Presentatie en demonstratie autonome precisiespuit. Ca. 450 bezoekers, telers en teeltadviseurs.

Potato Europe 2013, Emmeloord. 11 en 12 september 2013. Presentatie en demonstratie autonome precisiespuit. Ca. 15.000 bezoekers, waaronder staatssecretaris Sharon Dijksma van Min. EZ. De staatssecretaris heeft de autonome aardbeispuit gestart met de remote control.

Suprofruit workshop, Valencia, Spanje. 26 juni 2013. Canopy Density Spraying in strawberries in the Netherlands. Ca 50 bezoekers, voornamelijk wetenschappers en adviseurs.

Diverse voordrachten in het netwerk van PPL en Innovaties in het Kwadraat.

# 5. Conclusie en aanbevelingen

Op grond van een aantal praktijkeisen is voor het model 3050 uit de compacte tractorreeks Boomer van het merk New Holland gekozen als basis voor het eerste prototype van de autonome precisiespuit. Deze kleine landbouw-tractor van 50 pk heeft een traploze transmissie en de aftakas wordt elektrisch geschakeld. De tractor is voorzien van een routeplanning- en navigatiesysteem van het bedrijf Tyker Technology. De Boomer tractor is voorzien van een 'teach & playback' systeem en verschillende onderdelen voor het meten en aansturen van de tractor zijn vervangen en/of aangepast. Dit heeft ertoe geleid dat de tractor nauwkeurig een route kan afleggen nadat deze in de 'teach modus' is ingeleerd. De afwijking loodrecht ten opzichte van de geplande route ligt tussen 0 en 4.5 cm links en rechts van de route. De tractor heeft in de autonome modus voldoende nauwkeurigheid voor toepassing in o.a. de aardbeienteelt.

Voor het variabel kunnen doseren van middel is gekozen voor de SensiSpray Horti, een sensorgestuurde precisiespuit met luchtondersteuning van Homburg Holland en Probotiq. De precisiespuit heeft een werkbreedte van 4.5 meter en een tankinhoud van 400 liter. De spuitboom bestaat uit drie elementen van 1,5 meter breed. Elk segment is voorzien van een Greenseeker® sensor die de dichtheid van het gewas meet en het doorgeeft naar de SensiSpray® computer. Op basis van door PRI ontwikkelde doseeralgoritmen voor variabel doseren op basis van gemeten variatie in gewasbiomassa stuurt de computer, afhankelijk van het inkomende signaal van de sensoren (en de rijsnelheid) de spuitdoppen aan om een bepaalde hoeveelheid vloeistof uit te brengen. De sensordata en data over de afgegeven hoeveelheid spuitvloeistof wordt gelogd in datafiles. De data kunnen worden ingelezen via Akkerweb.nl, waarmee een koppeling is gerealiseerd van sensordata naar bedrijfsmanagement systeem. De spuitmachine heeft tijdens autonoom gebruik een betere performance gekregen door continue roering van de spuitvloeistof.

In 2012 is de effectiviteit van variabel doseren met de SensiSpray Horti getest op twee praktijkbedrijven in West Brabant door deze te vergelijken met standaard praktijkbespuitingen, Waarschijnlijk als gevolg van de relatief lage natuurlijke ziektedruk gedurende het seizoen hadden de verschillende behandelingen met een fungicide geen eenduidig effect op het uitstalleven van de vruchten, ofwel een verschil in effectiviteit tussen de verschillende spuittechnieken kon niet worden vastgesteld. De bespuitingen, ongeacht de techniek, gaven significant minder *Botrytis* aantasting op de kroonbladeren en de bloembodems dan op de onbehandelde plantedelen. Na kunstmatige inoculatie met *Botrytis* van de bloembodems was de effectiviteit van de standaard bespuiting beter dan bespuiting met een 45% dosering of de variabele bespuiting met de SensiSpray. Met betrekking tot de aantasting door *Botrytis* van de kroonbladeren (na inoculatie) was de effectiviteit van de verschillende spuitbehandelingen vergelijkbaar.

In 2013 is de effectiviteit van variabel doseren met de SensiSpray Horti gevalideerd op praktijkpercelen met aardbeien in West Brabant. Variabel doseren werd vergeleken met een standaard praktijkbespuiting m.b.v. een spuitboom. Zoals ook in 2012 was de natuurlijke ziektedruk relatief laag. De variabele en de standaard bespuitingen gaven beide, zowel bij natuurlijke infectie als na inoculatie, significant minder *Botrytis* aantasting op de kroonbladeren en de bloembodem ten opzichte van de onbehandelde planten. Variabel doseren met de SensiSpray Horti resulteerde in een effectievere bestrijding van de *Botrytis* aantasting op kroonbladeren, bloembodems en kelkbladeren dan de standaard bespuitingen. De SensiSpray Horti resulteerde ook in een lager percentage door *Botrytis* aangetaste kroonbladeren (incidentie) ten opzichte van de standaard bespuitingen. Echter, voor het percentage aangetaste bloembodems en kelkbladeren was er geen eenduidig verschil tussen de verschillende spuittechnieken.
De conclusie mag getrokken worden dat het SensiSpray Horti en het standaard praktijk systeem beiden goed functioneerden. Mogelijk als gevolg van de relatief lage natuurlijke ziektedruk gedurende de seizoenen 2012 en 2013, kon een verschil in effectiviteit tussen de verschillende spuittechnieken niet eenduidig worden vastgesteld.

Doel van het toepassen van de SensiSpray Horti in aardbeien was om aan te tonen dat gewasafhankelijk spuiten onder praktijkomstandigheden voordelen heeft ten opzichte van de standaard spuittechniek. Belangrijkste milieuvoordeel is het realiseren van een reductie in middelgebruik (bij gelijkblijvende effectiviteit) waardoor ook de

uitspoeling en drainage naar grond- en oppervlaktewater afnemen. In 2012 zij diverse metingen verricht waarmee is aangetoond dat de depositie op het blad bij verschillende gewasstadia met toepassing van de SensiSpray Horti vergelijkbaar is met de standaardbespuiting. Dit geldt ook voor de depositie op bloem en vrucht maar die resultaten waren wat minder eenduidig. De SensiSpray Horti gaf minder verlies van middel naar het pad tussen de bedden, ook de depositie naar de grond onder en tussen het gewas was lager. Aan het begin van de groeiperiode van de aardbeiplanten werd met variabel doseren een besparing op middelverbruik gerealiseerd van meer dan 50% ten opzichte van de standaard dosering. Bij een volgroeid gewas, tijdens de productiefase, was de besparing 23-15%. Een extra besparing kon worden gerealiseerd door de spuitdoppen boven de paden uit te schakelen, in die situatie was de besparing respectievelijk 62% en 38%. Worden de gerealiseerde reducties in spuitvolume doorvertaald naar de potentiële reductie in middelgebruik over het hele groeiseizoen van aardbeien dan is een reductie in middelgebruik van 50% haalbaar. In 2013 werd een reductie over het gehele seizoen van 64% behaald. Deze substantiële reducties in middelgebruik dragen bij aan het verminderen van de uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Bij goede afstelling leidt dit ook tot minder residu op het te oogsten product.

De resultaten uit dit project tonen aan dat het technisch mogelijk is om een tractor autonoom te laten rijden in combinatie met een sensor gestuurde spuitmachine waarmee variabel gedoseerd kan worden. Het prototype kan een vooraf geprogrammeerde route en spuitacties uitvoeren op een perceel aardbeien, waarbij de nauwkeurigheid van navigatie binnen 4 cm ligt. Bij een rijsnelheid van gemiddeld 5 km per uur is de capaciteit ca. 2 ha per uur. Aangetoond werd ook dat het prototype binnen het bedrijf vanaf het erf naar het perceel kan rijden en terug. Het prototype werd vervolgens bij diverse manifestaties gedemonstreerd. Wel is een bediener op afstand nodig die met een afstandsbediening kan ingrijpen als nodig. Stakeholders hebben aangegeven dat het prototype perspectief biedt voor grootschalige toepassing in de aardbeienteelt en eventuele andere teelten. Zij willen dan ook verder met de ontwikkeling van autonome gewasbescherming. Uitdagingen zijn om meer veiligheidsgaranties in te bouwen en de capaciteit te vegroten zonder dat dit meer bodemdruk levert a.g.v. een zwaardere machine. Wat dat betreft zou een volgende versie eerdere kleiner en lichter mogen zijn dan groter en zwaarder.

Capaciteit kan dus mogelijk een issue worden bij gebruik van autonome precisiebespuiting in de praktijk. Dit kan ondervangen worden door of de spuitboombreedte te vergroten, 's nachts door te gaan met uitvoeren van bespuitingen of meerdere machines in te zetten. De tijd zal leren wat hier mogelijk is. De enthousiaste reacties van derden tijdens demonstraties van het prototype op open dagen ondersteunen de ontwikkelaars van autonome SensiSpray Horti om de ingezette lijn door te zetten.