

Ontwikkeling van een autonome precisiespuit voor de aardbeienteelten in de volle grond

Fase 1 en 2: ontwerp en bouw van prototype

Corné Kempenaar¹⁾, Jean Marie Michielsen¹⁾, Ard Nieuwenhuizen¹⁾, Hanja Slabbekoorn²⁾, Jan van de Zande¹⁾



¹⁾ Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde / contactpersoon

²⁾ Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International / Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, 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, Corné Kempenaar

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

De resultaten in dit rapport werden voor het grootste deel gefinancierd door Programma Precisielandbouw (PPL): www.pplnl.nl. Het betreft de resultaten van het PPL-project 045.

In een later stadium worden aan dit groeidocument resultaten van andere projecten toegevoegd. Momenteel lopen er aansluitende projecten die mede gefinancierd worden door het Productschap Tuinbouw en PPL. De hardware van de spuit werd mede gefinancierd vanuit het KRW-programma 'Innovaties in het kwadraat' van het Ministerie van I&M. De overige financiering van de projecten is bij elkaar gebracht door de betrokken telers, Homburg Holland en Wageningen UR – PRI (KB-onderzoek en inzet eigen middelen).



Uw sector investeert in dit project via het Productschap  Tuinbouw



**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

SAMENVATTING.....	IV
1 INLEIDING	1
2 PROTOTYPE 2012 (FASE 1 EN 2)	3
2.1 Autonome trekker	5
2.2 Werking autonoom laten rijden van de trekker	13
2.3 Testresultaten	16
2.4 Sensorgestuurde spuit: SensiSpray Horti.....	18
2.5 Doseeralgoritmen (concepten 2012)	20
3 RESULTATEN FASE 3.....	21
3.1 Autonome navigatie	21
3.2 Effectiviteitstoetsing.....	21
3.3 Depositietingen	21
3.4 Overige.....	21
4 RESULTATEN FASE 4.....	22
4.1 Demonstratie en Veiligheidsaspecten	22
4.2 Communicatie	22
4.3 Overige.....	22
5 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	23
BIJLAGE	24

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.

In 2012 werd het eerste prototype van de autonome spuit opgeleverd. Gekozen is om een kleine landbouwtrekker van 50 pk in te richten met een route-planning- en navigatiesysteem van het bedrijf Tyker Technology en een SensiSpray Horti sensorgestuurde precisiespuit van Homburg Holland en Probotiq. PRI leverde de beslisregels (doseeralgoritmen) voor variabel doseren op basis van gemeten variatie in gewasbiomassa. In dit groeidocument wordt aan de hand van het plan van eisen van de telers, invulling van onderdelen van het prototype, technische specificaties, en met diverse detailfoto's, een overzicht gegeven van het ontwikkeltraject tot aan de oplevering van het prototype dat in 2012 getest wordt in het veld.

De ontwikkeling van het prototype is mogelijk gemaakt met investeringen van de partners en subsidie vanuit een aantal verschillende bronnen. Per bron werd bijgedragen aan een specifiek onderdeel van het prototype. De subsidiebronnen zijn Programma Precisielandbouw (PPL), Productschap Tuinbouw (PT) en het KRW-programma van Ministerie van I&M. Het onderdeel dat in dit rapport beschreven wordt, is gekoppeld aan PPL-financiering. Het betreft de oplevering van de autonome precisiespuit (prototype) die getest gaat worden in het veld. Dit deel is het maatwerkproject 045 van de aardbeientelers in de 2^e tranche van PPL. De hardware van de precisiespuit is gefinancierd vanuit het KRW-programma "Innovaties in het kwadraat". In een volgende versie van dit verslag zullen ook de resultaten van de veldtoetsing, eventuele aanpassingen en demonstratie beschreven worden.

Medio 2012 is het zo ver dat het toetsen van de autonome spuit in het veld kan beginnen. Hiervoor is een prototype autonome precisiespuit opgeleverd.

1 Inleiding

Autonome navigatie staat volop in de belangstelling van telers in de land- en tuinbouw. Met de komst van positiebepalingstechnieken als GPS RTK kunnen trekkers 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 trekker zitten voor het behouden van overzicht, veiligheid en het navigeren naar de volgende baan.

Volledige autonome navigatie van trekkers plus 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 de zuringplanten opzoekt 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 trekker met een precisiespuit voor gebruik in de aardbeienteelt beschreven. De resultaten zullen bij succes zondermeer ook toepasbaar zijn in andere open teelten.

Het initiatief 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 en 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 is 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 is begonnen met de bouw van het prototype. In dat jaar zijn de telers initiatiefnemer geworden in het Programma Precisielandbouw (PPL). De telers hebben hun maatwerkproject in de 2^e tranche van PPL gericht op de bouw van de autonome trekker. De bouw van de spuittechniek werd gedaan en gefinancierd in 2010-2011 via 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. Vanaf 2011 werden de eerste testen met onderdelen van de autonome spuit gedaan, de eerste veldtoets staat voor medio 2012 gepland.

In dit rapport wordt eerst de bouw van het prototype van de autonome aardbeispuit beschreven. In hoofdstuk 2 wordt het plan van eisen en de invulling op belangrijke onderdelen van het systeem beschreven. Ook worden resultaten van de eerste functionele testen met de autonome spuit beschreven. Eén en ander wordt gedaan aan de hand van overzichten, toelichtingen en vooral ook veel foto's. Aan het eind van hoofdstuk 2 wordt ook een korte beschrijving van SensiSpray Horti gegeven.

Het rapport heeft een open einde, immers het eindresultaat, een praktijkrijpe autonome spuit, is er nog niet. Alleen de resultaten van het PPL-maatwerkproject 2^e tranche (045) van de telers en deels ook van het KRW-project 'Innovaties in het kwadraat' worden beschreven in dit groeidocument. Naar het gewenste eindresultaat wordt stapsgewijs volgens plan en beschikbare middelen toegewerkt. In een volgende versie van dit verslag zal ook het testen, aanpassen en demonstreren van de autonome spuit beschreven worden. Deze stappen zijn voorzien voor 2012-2014 en worden financieel ondersteund vanuit het Productschap Tuinbouw (PT) en PPL.

2 Prototype 2012 (fase 1 en 2)

Het prototype autonome precisiespuit voor in de aardbeienteelt bestaat uit een trekker met opgebouwde SensiSpray Horti spuit. Gekozen is voor een trekker 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 verstopen
- 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 stuurscilinders wordt het sturen automatisch 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” trekker en een werktuigendrager. De voor- en nadelen van beide voertuigen zijn onderstaand op een rij gezet:

1. Hydraulisch aangedreven trekker (prijs circa € 25.000,-).
 - + multi inzetbaar; de trekker 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 trekker afgeleverd met aftakas, driepuntshefinrichting en hydraulische aansluitingen.
 - + eenvoudig overzetten SensiSpray. Een SensiSpray Horti is standaard gebouwd voor aankoppeling aan een trekker.
 - + behoud zijn marktwaarde. Indien om wat voor reden dan ook het project stop gezet wordt of de trekker/spuitcombinatie voldoet toch niet aan de wens of eis van de telers waardoor deze niet overgenomen wordt door een teler dan kan de trekker volgens de normale marktwaarde voor gebruikte trekkers 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 trekker niet kunnen rijden zonder frontgewichten.
 - relatief duur vanwege comfort voor bestuurder. Over het algemeen is een trekker uit deze vermogensklasse ook uitgerust met een cabine. Een compact trekker zonder cabine maar met een bestuurdersplatform is lichter, mogelijk goedkoper maar zal bij een eventuele verkoop minder aantrekkelijk zijn dan een trekker met cabine.
2. Hydraulisch aangedreven werktuigendrager. Een werktuigendrager wordt, over het algemeen, gebruikt voor het verplegingswerk in tuinbouw/vollegroonds 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 trekker. 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 trekker al snel aan de voorwielen te licht.
 - + lichter dan trekker. Door het ‘open’ frame en het vaak ontbreken van enige vorm van luxe kan een werktuigendrager lichter zijn dan een ‘gewone’ trekker. Een werktuigendrager van het merk Mazzotti is weer zwaarder dan een trekker. 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 trekker. Als er een gemonteerd wordt, kan deze een hydraulisch aangedreven zijn.

De afwegingen hebben geleid tot de aanschaf en inzet van een New Holland Boomer 3050 compact trekker. Naast de aanwezige elektrische schakelingen heeft de verkoopwaarde als gebruikte trekker 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.

2.1 Autonome trekker

Na diverse afwegingen is de keuze gemaakt voor het model 3050 uit de compacte tractorreeks Boomer van het merk New Holland. Deze trekker heeft een traploze transmissie en de aftakas wordt elektrisch geschakeld.

Motor

De motor van de Boomer 3050 is een 2200 cm³ 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).

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 trekker zoekt aan de hand van de gekozen rijnsnelheid 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 trekker 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.

Afmetingen

De trekker 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

Vooras

De trekker 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 trekker 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 trekker 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 trekker met de opgebouwde stuurhoeksensor.

Banden en bodemverdichting

De trekker 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 trekker is uitgerust met Kleber Traker 320/85R32 banden op de achteras. De trekker en spuit wegen totaal 3000 kg bij een half gevulde tank (200 liter). In **Error! Reference source not found.** Tabel 2 staan de gewichten op de voor en achteras en de bandspanningen, de grote van het contactoppervlak van de achterbanden van de trekker en de bodemdruk behorende bij de achterbanden.

Op de vooras van de trekker 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 trekker 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 bereiden 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 onbereide 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 trekker 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 werktuigdrager 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 werktuigdrager. 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 trekker. Bij de werktuigdrager 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 trekker met rupsen is de bodemdruk over het algemeen rond de 50 kPa. Ook bij een lichter voertuig dan een conventionele trekker 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 trekker/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 trekker bij een "hoge" bandspanning een even hoge bodemdruk heeft als de

bodemdruk onder de trekker met de rupsen. Door het zeer grote contactoppervlak van de rupsen heeft de Fendt 412 trekker 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.

Trekker/ 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.

Cabine

Standaard wordt de trekker 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 Hardy SensiSpray Horti en bedieningskastje voor de luchtondersteuning.

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 trekker 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

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:

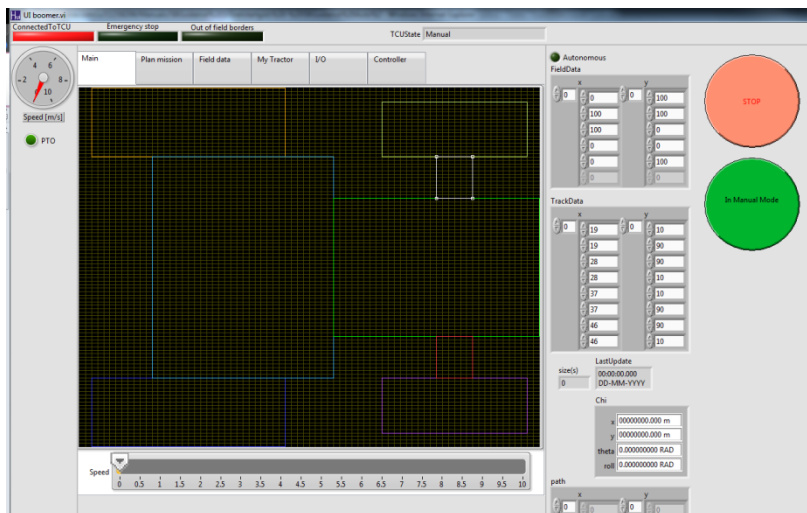
- RTK-DGPS Heading receiver, dual frequency, incl. Glonass, 2 antennas
- Radio modem WAN 3G dual Dual antenna
- ControlBox – controller and IO
- User interface – panel PC
- Wielhoeksensor
- Counter balance sensor for Trimble steering system
- Bekabeling

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 van de trekker wordt de trekker 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 trekker. 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 geluidssignaal. Afhankelijk van de kleur lamp wordt aangeduid of het veilig is de trekker te benaderen. De lampen zijn aan beide zijden van de trekker net achter de cabine gemonteerd en steken boven de cabine uit voor een goede zichtbaarheid vanuit alle hoeken rondom de combinatie trekker/spuitmachine (Figuur 7). Wanneer een emergency button op de trekker of de emergency button op de remote control wordt geactiveerd, dan wordt de motor van de trekker uitgeschakeld. De trekker 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.

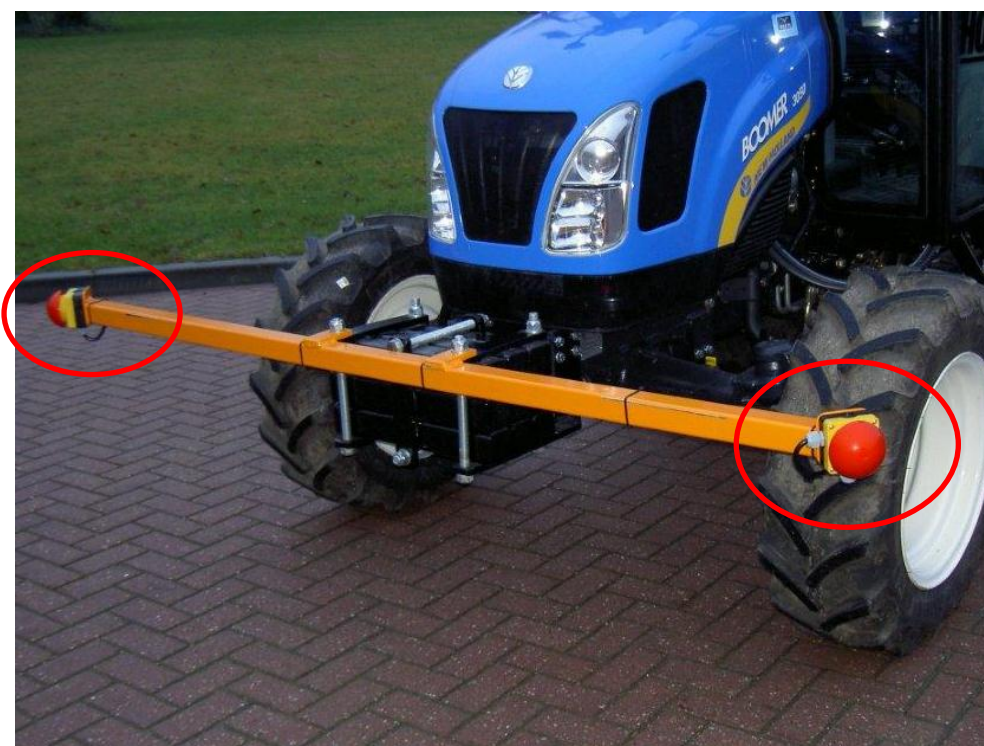
Een emergency situatie kan worden veroorzaakt door de gebruiker door op een noodknop te drukken, maar ook door de software zelf wanneer een onveilige situatie wordt herkend. Bijvoorbeeld wanneer de trekker in een verkeerde zone komt of wanneer het GPS signaal weg zou vallen.



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

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 trekker. De afstandsbediening heeft een bereik van 1000 meter. De nood knoppen zijn gesitueerd aan de voorzijde van de trekker voor de frontgewichten. Om te voorkomen dat er dicht bij de wielen actie ondernomen moet worden om de trekker te stoppen, steken de knoppen in breedte gezien ruim buiten de wielen van de trekker uit (Figuur 8). Aan de achterzijde van de trekker en spuit zijn geen noodvoorzieningen aangebracht.

Wanneer een nood knop wordt bediend, wordt de motor van de trekker uitgeschakeld. Hiermee stopt het rijden van de trekker 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 8. Nood knoppen aan de voorzijde van de trekker.

2.2 Werking autonoom laten rijden van de trekker

Het autonoom laten rijden van de trekker 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.

Opstarten computersysteem en veiligheidssysteem

Om de trekker 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:

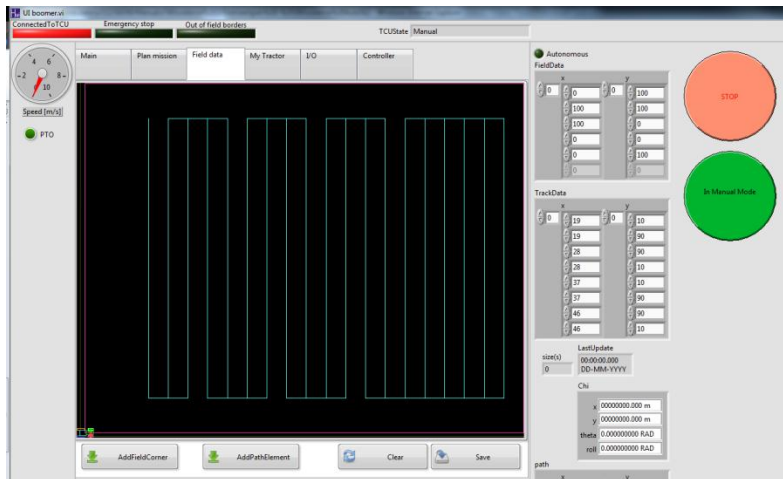
- I. Rij naar het gewenste perceel.
- II. Zet het veiligheidssysteem aan via de aan/uit knop aan de zijkant van de bedieningskast.
- III. Het veiligheidssysteem zal in de noodstatus gaan. De motor van de trekker zal uitvallen en de rode licht van de signaaltoren lichten zal gaan branden.
- IV. Draai 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 trekker 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 trekker 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.

Een nieuw perceel aanmaken:

Voorafgaand aan het kenbaar maken hoe de trekker de spuitpaden moet gaan volgen, moet eerst ingevoerd worden waarbinnen de trekker de bewegingsvrijheid heeft. Dit is de zone waarbinnen de trekker 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 trekker 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 trekker 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 verwijderd. Begin weer opnieuw bij stap II

Spuitbanen perceel aanmaken:

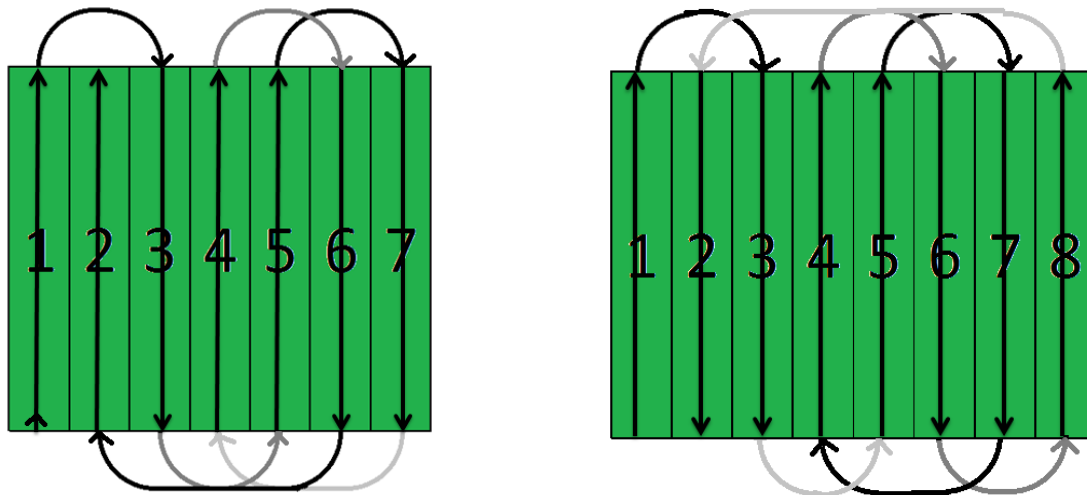
Wanneer de hoekpunten van een perceel zijn vastgelegd, moet het begin en het einde van ieder spuitbaan ingemeten worden. Dit gebeurt met de volgende stappen.

- I. Ga in de gewenste beginbaan staan, deze moet langs een zijde van het veld liggen.
- II. Zet de trekker midden boven de baan met de achteras midden boven het begin van het gewas.
- III. Zorg dat de trekker 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 bevindt.
- V. Zorg dat de trekker 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:

- o Sla vanaf de eerste baan telkens een baan over totdat de buitenste baan is bereikt.
- o Ga drie banen richting de beginbaan.
- o Ga twee banen van de beginbaan af.

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

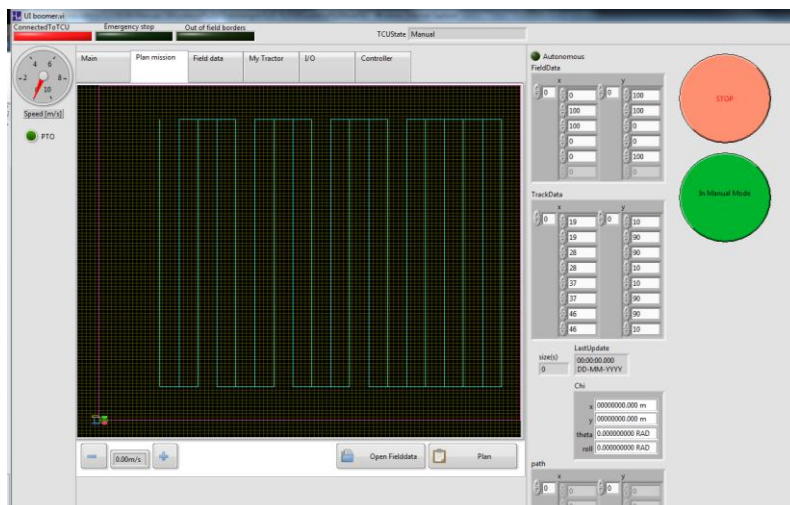


Figuur 10. Baanvolgorde bij een oneven aantal banen (links) en bij een even aantal banen (rechts).

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 trekker 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 trekker 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 trekker gestopt worden door met de groene knop de handmatige modus te activeren. De trekker stopt dan met rijden.

2.3 Testresultaten

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.

Test veiligheidssysteem

Met de trekker is getest of de veiligheidsknoppen naar behoren functioneren. Met de trekker is gereden en elke noodstop is getest. Dit betreft de noodknoppen op de afstandsbediening, in de trekker, maar ook de noodstoppen voorop de trekker.

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.

Test hardware in the loop

Om de autonome navigatie te kunnen testen is de trekker van de grond af geplaatst op blokken (Figuur 12). In deze opstelling kan de trekker een gesimuleerd pad afleggen. Hardware in the loop testen betekent dat met de echte trekker 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 trekker van de grond af is geplaatst om een gesimuleerd pad te kunnen rijden.

Test functionaliteit

Na de testen van de navigatie op de blokken is de trekker 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 trekker 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 trekker nu nog oscilleert rondom het rechte pad. Dit betekent dat de trekker 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 trekker 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.

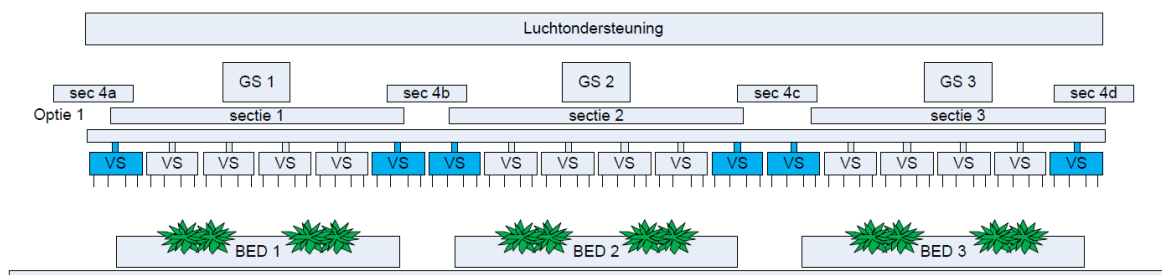
Op basis van de testresultaten gaat de autonome precisiespuit nu in het veld onder praktijkomstandigheden verder getest worden. De machine verhuist van Wageningen naar de aardbeientelers in West Brabant voor testen van het spuitsysteem en de autonome navigatie. Na een eerste demonstratie zal de trekker 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.

2.4 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.*

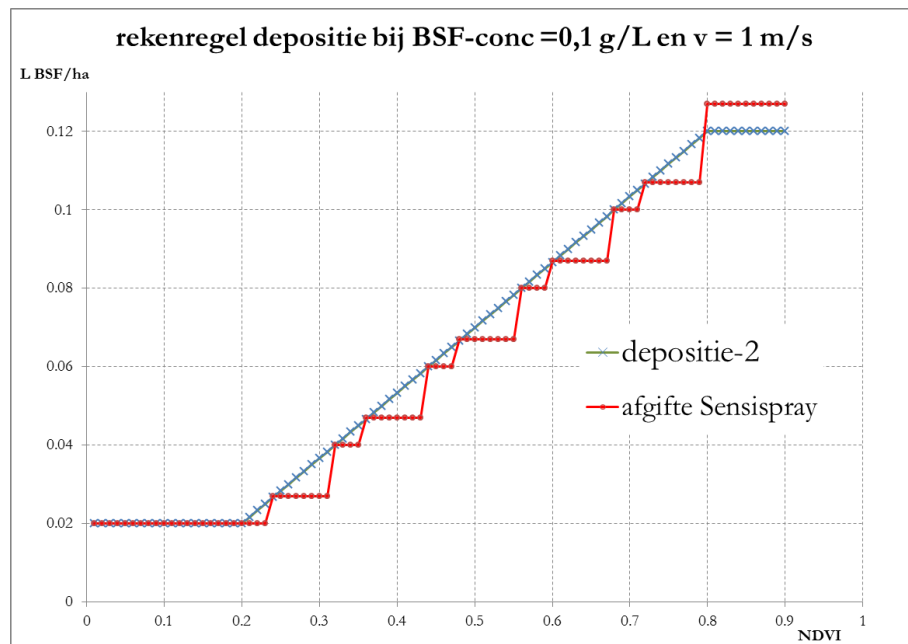
Techniek	Merknaam	Werkbreedte (m)	Dop	Druk (bar)	Rijsnelheid (km h ⁻¹)	Afgifte (l ha ⁻¹)
CDS	SensiSpray Horti	4,5	F 015 -110 F 01 – 110 F 0075 - 110	3	6	400 - 700



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

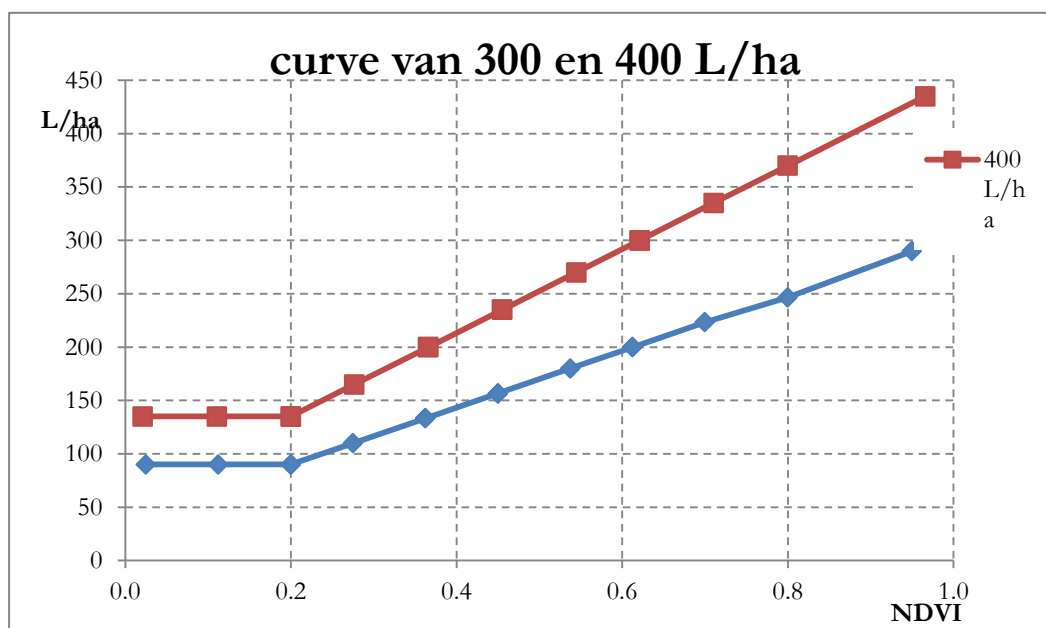
Stap	Positie	Varioselekt® 1				Varioselekt® 2				n dop	Afgifte (l min ⁻¹)	
		4	3	2	1	1	2	3	4		totaal	totaal
		Doptype	015	015	01	0075	0075	01	015		015	dop type
1					0075	0075				1	0.075	0.3
2				01			01			1	0.1	0.4
3			015					015		1	0.15	0.6
4				01	0075	0075	01			2	0.175	0.7
5			015		0075	0075		015		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.

2.5 Doseeralgoritmen (concepten 2012)

Op basis van de eerste ervaringen met SensiSpray Horti in 2011 hebben we gekozen om in 2012 twee nieuwe 2 doseeralgoritmen (Figuur 15) te programmeren in de software van SensiSpray Horti. Hiermee zullen veldproeven gedaan worden bij de telers in West Brabant. Als hiervan resultaten beschikbaar komen, worden ze 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

Groeidocument, resultaten volgen vanaf eind 2012.

3.1 Autonome navigatie

Proefresultaten 2012 en 2013 PPL B0 project volgen.

3.2 Effectiviteitstoetsing

Proefresultaten 2012 en 2013 PT project volgen.

3.3 Depositiemetingen

Proefresultaten 2012 KRW-project volgen.

3.4 Overige

Overige proefresultaten 2012 en 2013 volgen.

4 Resultaten fase 4

Groeidocument, resultaten volgen vanaf eind 2012.

4.1 Demonstratie en Veiligheidsaspecten

Proefresultaten 2012 en 2013 volgen.

4.2 Communicatie

Resultaten 2012 en 2013 volgen.

4.3 Overige

Resultaten 2012 en 2013 volgen.

5 Conclusie en aanbevelingen

In juni 2012 werd het eerste prototype van de autonome precisiespuit opgeleverd. Gekozen is om een kleine landbouwtrekker van 50 pk in te richten met een routeplanning- en navigatiesysteem van het bedrijf Tyker Technology en een SensiSpray Horti sensorgestuurde precisiespuit van Homburg Holland en Probotiq. PRI leverde de beslisregels (doseeralgoritmen) voor variabel doseren op basis van gemeten variatie in gewasbiomassa.

Vanaf juni 2012 zal de autonome aardbeienspuit getest worden onder praktijkomstandigheden. Hierbij gaat vooral de aandacht uit naar testen van de doseeralgoritmen op effectiviteit. Naar verwachting zijn nog enkele technische aanpassingen nodig voordat de trekker autonoom kan navigeren over het perceel op de gewenste wijze. Verbeterpunten worden onderzocht en zo snel mogelijk doorgevoerd.

Er zijn geen aanbevelingen op dit moment in het ontwikkeltraject. Deze volgen na de evaluatie van de toetsing op het bedrijf van de aardbeientelers in 2012.

Bijlage