



# Autonoom spuiten in fruitteelt

Conceptontwikkeling voor autonoom spuiten in fruitteelt

PT project 13265

A.T. Nieuwenhuizen, J.C. van de Zande, M. Wenneker



Pictures courtesy of Valtra Robotrac





# Autonoom spuiten in fruitteelt

Conceptontwikkeling voor autonoom spuiten in fruitteelt

PT project 13265

A.T. Nieuwenhuizen<sup>1</sup>, J.C. van de Zande<sup>1</sup>, M. Wenneker<sup>2</sup>

- 1 Plant Research International, Agrosysteemkunde, Wageningen
- 2 Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Randwijk

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR  
Business Unit Agrosysteemkunde  
december 2012

---

© 2012 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.

## **Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde**

Adres : Postbus 616, 6700 AP Wageningen  
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 05 29  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
2. Conceptontwikkeling	3
2.1 Situatie beschrijving	3
2.2 Automatisch spuiten	7
2.3 Autonoom rijden	10
2.4 Geïntegreerde combinaties van automatisch spuiten rijden	11
2.5 Keuze “winner concept”	13
3. Projectplan bij “winner concept”	15
3.1 Probleemstelling:	15
3.2 Doelstelling en afbakening	15
3.3 Plan van aanpak	16
3.4 Betekenis voor arbeid	17
3.5 Draagvlak	17
4. Conclusie	19
5. Output	21
6. Bijlagen	23



# 1. Inleiding

Het doel van dit project is: Eén of meerdere concepten ontwerpen voor autonoom spuiten in de fruitteelt en aansluiting vinden bij machinefabrikanten, die bereid zijn het project verder te trekken naar ontwikkeling en realisatie. Uitgangspunten (afbakening) bij de conceptontwikkeling zijn:

- Bruikbaar in gangbare teeltsystemen in de fruitteeltsector.
- Betrouwbaar, eenvoudig, intelligent en passend in omstandigheden van fruitsector.
- Integratie van de functie maaien is een pre.
- Alle spuithandelingen dienen uitgevoerd te kunnen worden, zo mogelijk ook herbicidenbespuitingen.
- Beperkt gewicht om stukrijden van paden en kopakkers te voorkomen.
- Voldoende capaciteit minimaal om 1 ha in 1 uur te kunnen spuiten.

Het uitvoeren van gewasbespuitingen met de traditionele spuitmachines kost veel tijd. De meeste tijd wordt besteed aan het 'heen-en weer' rijden in de boomgaard, omdat iedere bomenrij afzonderlijk bespoten wordt. Wanneer de gewasbespuiting door een autonoom rijdende machine kan worden uitgevoerd zal dit een aanzienlijke arbeidsbesparing opleveren. Idee is om de gewasbespuiting autonoom uit te laten voeren, door na het juist positioneren van de spuitmachine voor het eerste pad, middels een druk op de knop de spuitmachine autonoom een volledig perceel te laten spuiten. Uitgangspunten daarbij zijn om concepten te kiezen die een beperkt gewicht meedragen om rijsporenvorming te voorkomen. Daarnaast kan een dergelijk autonoom systeem mogelijk geïntegreerd worden met andere systemen die momenteel ontwikkeld worden (bijvoorbeeld sensorgestuurde bespuitingen). In dit project zijn meerdere concepten ontworpen voor autonoom spuiten. Een van de concepten is aanbevolen voor verdere ontwikkeling, en er is een machinefabrikant gevonden voor verdere ontwikkeling en realisatie.

In het hoofdstuk conceptontwikkeling wordt eerst de situatie van karakteristieke fruitteelt percelen geschetst waar autonoom spuiten gaat plaatsvinden. Vervolgens worden de concepten uitgewerkt en uitgelegd. Uiteindelijk wordt het winner concept aangegeven. In het hoofdstuk "winner concept" wordt het voorstel gedaan hoe dit concept in de praktijk gerealiseerd gaat worden.





## 2. Conceptontwikkeling

### 2.1 Situatie beschrijving

In dit gedeelte worden de bedrijven in belangrijke fruitteelt regio's in Nederland beschreven naar hun eigenschappen van belang voor autonoom spuiten. Het gaat hier om eigenschappen zoals: perceelsgrootte, bedrijfsgrootte, lengte breedte verhouding van de percelen en de lengte van de rijen. Deze beïnvloeden namelijk de tijdsduur die benodigd is voor rijden, vullen en aan-en aflooptijd van het bespuiten van fruitteeltpercelen.

Karakteristieke fruitteeltbedrijven in Zeeland zien er uit als weergegeven in het volgende figuur.



De eigenschappen van deze percelen zijn:

- Opp: 29 ha
- 28 percelen
- Breedte: 40-60 m
- Lengte: 80-250 m
- Grootte: 0,4-2,2 ha
- Corridor: 40-120 m
- Gerende percelen: 4
- Rijlengte: 99 km

Karakteristieke fruitteeltbedrijven in de Betuwe zien er uit als weergegeven in het volgende figuur.



De eigenschappen van deze percelen zijn:

- Opp: 12 ha
- 7 percelen
- Breedte: 20-265 m
- Lengte: 55-185 m
- Grootte: 0,2-4,9 ha
- Corridor: 55-350 m
- Gerende percelen: 0
- Rijlengte: 38 km

Karakteristieke fruitteeltbedrijven in Flevoland zien er uit als weergegeven in het volgende figuur.



De karakteristieke eigenschappen van deze percelen zijn:

- Opp: 15 ha
- 3 percelen
- Breedte: 100-500 m
- Lengte: 100-145 m
- Grootte: 1,0-7,3 ha
- Corridor: 100-500 m
- Gerende percelen: 0
- Rijlengte: 47 km

Overzicht van de spuittijden voor de verschillende regio's en types spuit staan weergegeven in onderstaande tabel. De totale tijd is zoals verwacht per regio per hectare bijna gelijk. Per regio zijn de verschillen zo dat in Zeeland de totale tijd hoger is doordat de gemiddelde bedrijfs grootte daar ook hoger is.

Regio	Type spuit	Rijlengte (km)	spuittijd (uur)	vultijd (uur)	totale tijd (uur)	uur/ha	25x
Zeeland	enkel	99	16.6	4.0	20.5	0.71	17.7
	2-rijen	52	8.6	4.2	12.8	0.44	11.0
	3-rijen	36	6.0	4.3	10.3	0.36	8.9
Betuwe	enkel	38	6.4	2.0	8.4	0.70	17.5
	2-rijen	19	3.2	1.6	4.8	0.40	10.0
	3-rijen	13	2.2	1.6	3.8	0.31	7.9
Flevo	enkel	47	7.9	2.4	10.3	0.68	17.1
	2-rijen	24	4.0	1.9	5.9	0.39	9.8
	3-rijen	16	2.7	1.9	4.6	0.31	7.6

In de onderstaande tabel staat de besparing in kosten uitgedrukt van het gebruik van meerrijige spuiten voor het bespuiten van fruitboomgaarden. Door van een enkel rijer naar een twee rijige spuit te gaan wordt tussen 166 en 187 Euro per hectare bespaard per seizoen aan arbeidskosten. Gaat van een 1 naar een drierijer dan wordt de besparing aan arbeidskosten tussen 219 en 240 Euro per hectare per seizoen.

#### Besparing in kosten bij meerrijen spuiten

	opp (ha)	uren dwars	uren 2-rij	verschil	25 x spuiten	lagere kosten (€25/uur)	€/ha
Zeeland	29	20.5	12.8	7.7	193	4827	166.46
Betuwe	12	8.4	4.8	3.6	90	2251	187.61
Flevo	15	10.3	5.9	4.4	110	2742	182.80
	opp (ha)	uren dwars	uren 3-rij	verschil	25 x spuiten	lagere kosten (€25/uur)	€/ha
Zeeland	29	20.5	10.3	10.2	254	6362	219.37
Betuwe	12	8.4	3.8	4.6	115	2887	240.58
Flevo	15	10.3	4.6	5.7	142	3545	236.35



De eigenschappen van de bedrijven zoals in de bovenstaande drie regio's geschetst zijn samengevat in de volgende tabel. Hierin is als resultaat weergegeven de mogelijke kostenbesparing (bedragen naar situatie 2008) als autonoom gespoten zou worden op deze bedrijven. De spuittijd is de tijd dat de trekker met chauffeur aan het spuiten is op het bedrijf. De vultijd is berekend op basis van de typische gegevens en eigenschappen van de spuit. De totale tijd is de spuittijd met de vultijd erbij opgeteld. Vervolgens is ervan uitgegaan dat bij autonoom spuiten er van de spuitijd 25% van de tijd wel toezicht moet zijn door de chauffeur. Immers er moet in de gaten gehouden worden of de machine zijn werk nog goed uitvoert. De vultijd blijft ook hetzelfde als bij bemand spuiten. De 25% mantijd en vultijd opgeteld geeft dan het totaal aantal manuren dat nodig is bij autonoom spuiten van het bedrijf. Het verschil in totale tijd en manuren bij autonoom spuiten is het "verschil uren". Deze uren vermenigvuldigd met 25 x spuiten en 25Euro per uur komt aan de lagere kosten en de kosten per hectare besparing.

*Kostenbesparing door autonoom spuiten voor Zeeland, Betuwe en Flevoland met resp. 29, 15, en 12 ha.*

Besparing in kosten door autonoom spuiten

Zeeland	spuitijd (uur)	vultijd (uur)	totale tijd (uur)	25% manuren aanwezig bij spuiten	manuren bij autonoom spuiten (vultijd+aanzig tijd)	verschil uren	25 x spuiten	lagere kosten (€25/uu € /ha r)	
enkel	16.6	4.0	20.5	4.1	8.1	12.4	310	7758	267.53
2-rijen	8.6	4.2	12.8	2.2	6.3	6.5	162	4054	139.80
3-rijen	6.0	4.3	10.3	1.5	5.8	4.5	113	2819	97.22
Betuwe									
enkel	6.4	2.0	8.4	1.6	3.6	4.8	119	2982	248.48
2-rijen	3.2	1.6	4.8	0.8	2.4	2.4	61	1516	126.32
3-rijen	2.2	1.6	3.8	0.5	2.1	1.6	41	1027	85.59
Flevo									
enkel	7.9	2.4	10.3	2.0	4.4	5.9	148	3689	245.95
2-rijen	4.0	1.9	5.9	1.0	2.9	3.0	74	1860	123.99
3-rijen	2.7	1.9	4.6	0.7	2.6	2.0	50	1250	83.34

Uit de tabel blijkt dat de kostenbesparing voor autonoom spuiten hoger is als met een enkel rij spuitmachine gewerkt wordt. Dit is aannemelijk omdat daar de meeste rijtijd in het spuiten zit. Geheel in lijn neemt de kostenbesparing af als naar meerrijige machines gerekend wordt. De kosten besparing is op bedrijven in Zeeland hoger dan in de andere regio's, doordat de totale tijdsduur ook hoger is door de bedrijfsgrootte.

## 2.2 Automatisch spuiten

Bij autonoom spuiten hoort ook een automatisch spuit systeem om het spuitproces in de boomgaard goed gecontroleerd uit te kunnen voeren. Daarom worden de volgende onderdelen voorgesteld binnen de autonome spuittechniek.

1. Aan/uit schakelen spuitdoppen afhankelijk van aanwezigheid blad.
2. Aanpassing spuitvolume aan bladmassa hoeveelheid.
3. Aanpassen dooptype afhankelijk van positie in boomgaard (driftarm langs sloot).

4. Aanpassen luchthoeveelheid links/rechts afhankelijk van rijrichting, windrichting en positie in boomgaard.

In onderstaande figuur staan stap drie en vier uitgelegd. Als de wind richting de sloot of watergang staat wordt automatisch in een zone grenzend aan de sloot driftarm gespoten (de gele zone). Als in een strook zeer dicht bij de sloot wordt gereden worden de doppen uitgeschakeld (de rode zone).



Het wisselen van dooptype van fijn naar grof en vice versa staat weergegeven in onderstaande figuur. Als een te hoge windsnelheid wordt gemeten door een windmeter (bijvoorbeeld een anemometer zoals in figuur) wordt overgeschakeld van fijne naar grove spuitdoppen. De windsnelheid kan op de spuit of naast het perceel worden gemeten. Ook kan de luchtondersteuning variabel gemaakt worden waardoor een hogere hoeveelheid lucht tegen de wind in wordt geblazen.





Door bovenstaande onderdelen kunnen de drift en emissie naar gedeelten buiten het perceel geminimaliseerd worden. Alle vier de onderdelen zijn in onderzoek en ontwikkeling binnen het EU project ISAFruit waarbinnen een Crop Adapted Spray Application (CASA) spuit ontwikkeld wordt. Deze spuit voorziet in deze vier onderdelen volgens een onderzoeksopstelling getoond in de bovenstaande figuur.





De vier onderdelen om emissie te verlagen en gecontroleerd te sproeien kunnen ook worden opgebouwd op een zelfrijdende tunnelspuit (zie boven) of op een zogenaamde haspelspuit, bekend vanuit de glastuinbouw (zie onderstaand).



## 2.3 Autonoom rijden

Bij de automatische spuit hoort ook een voertuig om de spuit door de percelen heen te bewegen. Dit kan een autonome trekker zijn. Een autonome trekker kan een omgebouwde conventionele trekker zijn die daardoor multi inzetbaar blijft gedurende de oogsttijd en in de winterperiode voor andere werkzaamheden. Ook kan een nieuwe tractor ontworpen worden zoals bijvoorbeeld in onderstaande concept studie door Valtra tractoren.



Bij een tunnelspuit is eerder al getoond dat ook zelfrijdende concepten tot de mogelijkheden behoren om te navigeren door een boomgaard heen.



## 2.4 Geïntegreerde combinaties van automatisch spuiten rijden

Voor het automatisch spuiten en autonoom rijden worden drie combinaties voorgesteld. Het eerste concept is een automatische dwarsstroomspuit, het tweede concept is een automatische tunnelspuit, en het derde concept is een automatische haspelinstallatie spuit.

Automatische dwarsstroomspuit bestaat uit een dwarsstroomspuit met een autonome trekker, in de vorm van een aangepaste conventionele trekker met RTK-GPS besturing.

Het samengevatte kostenoverzicht is weergegeven in onderstaande tabel. De uitgewerkte berekening staat in de spreadsheet in Bijlage I. De totaal kosten van aanpassingen komen op 127950 Euro.

---

Trekker+spuit aanpassingen tot werkend prototype:

---

RTK-DGPS basisinstallatie	12000
RTK-DGPS trekker + spuit	76500
Aan/uit groen, driftarm	28950
injectiesysteem	10500
totaal	127950

Basis:

trekker	45000
dwarsstroomspuit	15000

Automatische tunnelspuit bestaat uit een dubbele tunnelspuit met daarbij een zelfrijdend voertuig om de spuit door de boomgaard te navigeren op basis van RTK-GPS besturing.

Het samengevatte kostenoverzicht is weergegeven in onderstaande tabel. De uitgewerkte berekening staat in de spreadsheet in Bijlage II. De totaalkosten van de aanpassingen komen op 126500 Euro

---

Dubbele tunnelspuit aanpassingen tot werken prototype

---

RTK-DGPS basisinstallatie	12000
Besturing	61000
aan/uit spuiten	20000
driftarm spuiten	20000
tunnel-boomvorm aanpassing	13500
injectiesysteem	10500
totaal	126500

Basis:

enkele tunnelspuit	40000
dubbele tunnelspuit	60000
trekker >60 pk	60000
zelfrijdende dubbele tunnelspuit	100000

Automatische haspelinstallatie bestaat uit een oprol-afrol haspel spuit zoals bekend uit de glastuinbouw. Dit systeem heeft geen RTK-GPS besturing nodig, maar wel een geleiding om goed door de rijen heen naar achterin de boomgaard te kunnen komen.

Het samengevatte kostenoverzicht staat in onderstaande tabel. Het uitgewerkte kostenoverzicht staat in de spreadsheet in Bijlage IV. De totaalkosten van de autonome haspelspuit aanpassingen komen op 160500.

Haspelsysteem autonoom maken	
robuuster maken	25000
geleiding	27000
Driftarm	16000
Aansturing	37000
Injectiesysteem	10500
dwarsverplaatsing	45000
<b>totaal</b>	<b>160500</b>
Basis:	
luchtondersteund haspelsysteem	30000
dwarstransportinrichting	20000

Echter om een haspelsysteem te kunnen gebruiken moet ook de infrastructuur op het bedrijf aangepast worden, er zijn leidingen nodig van en naar het perceel en naar aansluitpunten om de haspel te kunnen voeden met stroom en water. Deze kosten zijn hieronder samengevat. De kosten komen hiervoor op 130000 tot 500000 Euro afhankelijk van het bedrijfstype en regio zoals hieronder aangegeven.

Infrastructuur bedrijfsafh.			Zeeland	Betuwe	Flevo
aansluitpunten water	per stuk	1000	8	2	2
	per m vanaf erf	50	2910	535	450
aansluitpunten krachtstroom	per stuk	1000	8	2	2
	per m vanaf erf	50	2910	535	450
effenen tussenpaden (als geen vast pad/beton)	per m	200	980	350	500
			503000	127500	149000

Zetten we de concepten naast elkaar dan komen de kosten eruit zoals in onderstaande tabel aangegeven. De basiskosten van de dubbele tunnelspuit zijn het hoogste, kosten voor aanpassing daarentegen zijn weer lager. Dit komt met name doordat kosten om aan te passen voor automatisch spuiten lager zijn. Aanpassen van een trekker + spuit combinatie komt het aantrekkelijkst uit.

*Samengevast de meerkosten in Euro voor autonoom spuiten bij drie verschillende concepten*

	kosten	meerprijs	totaal
Trekker + spuit	60000	23262	83262
Dubbele tunnel	100000	18806	118806
Haspel	50000	45006	95006

## 2.5 Keuze “winner concept”

Op basis van de kosten voor het concept en de verwachte acceptatie door de praktijk van de fruitteeltbedrijven is gekozen het concept “trekker + dwarsstroomspuit” en “dubbele tunnelspuit” voor te leggen aan mogelijke consortia voor verdere uitwerking tot een project.

De mogelijke consortia hebben vervolgens aangegeven verder te willen met het concept “trekker + dwarsstroomspuit”. Dit is mede ingegeven door het feit dat de inzetbaarheid van de trekker gewaarborgd blijft en dat de dwarsstroomspuit gemakkelijk vervangen kan worden door een 1, 2 of meerrijig principe.



### 3. Projectplan bij “winner concept”

Onderstaand is weergegeven een samengevatte versie van het projectplan wat behoort bij het “winner concept” autonome trekker in combinatie met automatische dwarsstroomspuit. Het projectplan wordt gebruikt om financiering te verwerven om realisatie van het “winner concept” mogelijk te maken.

#### 3.1 Probleemstelling:

In de fruitteelt wordt de gewasbescherming (spuiten) in het algemeen uitgevoerd met spuitmachines die bomenrij na bomenrij bespuiten. Dat betekent dat per spuitbeurt veel arbeidstijd ‘verloren’ gaat aan het heen-en-weer rijden in de boomgaard (circa 25 minuten per ha). Bij een bedrijfsgrootte van 15 hectare betekent dat tenminste 6 uur rijtijd. Het autonoom uitvoeren van gewasbespuitingen levert grote besparingen op arbeidskosten omdat de bestuurder niet meer aanwezig is. Dit geeft de teler meer tijd om aan management van het bedrijf te besteden. Het uitvoeren van de gewasbespuitingen moet wel met een geautomatiseerde spuitmachine plaats vinden, omdat de bestuurder de besturingsknoppen niet meer bedient.

Op dit moment zijn er prototypes ontwikkeld voor sensoren die afhankelijk van de bladmassa het spuitvolume aanpassen, GPS toepassingen die afhankelijk van de positie in de boomgaard een driftarme dop of een conventionele dop gebruiken, de luchtinstellingen van de spuit aanpassen en autonome voertuigen voor toepassing in de landbouw. Al deze toepassingen blijven echter in een experimentele fase steken. Dit project wil de aanwezige kennis op de deelgebieden benutten om te komen tot ‘de spuitmachine van de toekomst’ waarin de prototypen van sensoren en autonome navigatie gecombineerd wordt tot een autonome, automatische fruitteeltspuit.

#### 3.2 Doelstelling en afbakening

Vermindering arbeidsbehoefte voor het spuiten door integratie van autonome navigatie m.b.v. GPS of transponders, driftarme spuitdoppen en variatie in ondersteunende lucht en spuitvolume.

Projectdoelen:

- ontwikkeling autonome tractor voor de fruitteelt;
- ontwikkelen van volledig geautomatiseerde spuittechniek voor de fruitteelt;
- integratie van autonome tractor en geautomatiseerde fruitteeltspuit;

Een technisch werkende autonome automatische spuit wordt opgeleverd. Voor de drift en effectiviteitsmetingen spannen we ons in voor financiering vanuit bijvoorbeeld EL&I, denk hierbij aan de positieve effecten van automatisch bladmassa afhankelijk spuiten.

Bestaande kennis, zowel binnen als buiten de eigen organisatie:

Plant Research International (PRI) Agrosysteemkunde

PRI is een gerenommeerde kennisinstelling voor strategisch en toepassingsgericht onderzoek. PRI bedient de gehele plantaardige productieketen met producten uit de wetenschap. Een speerpunt is verduurzaming van agro-productiesystemen. PRI beschikt over hooggekwalificeerde medewerkers (HBO en hoger) met expertise op gebied van o.a. genetica, reproductie, genomica, landbouw-techniek, precision farming, gewasbescherming en duurzame productiesystemen. Het team ‘Spuittechniek’ is specialist in het ontwikkelen van innovatieve duurzame toedienings-technieken van gewasbeschermingsmiddelen, het testen daarvan en meten en kwantificeren van gebruik en emissie aan toedieningstechnieken. Hiervoor zijn laboratoria, meetinstrumenten, modellen en proefvelden beschikbaar. Ervaring op het gebied van gewasafhankelijk spuiten en precisielandbouw in akkerbouwgewassen, fruitteelt en boomteelt. Lopende onderzoeksprojecten hebben betrekking op precisie toediening van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen met een minimale emissie.

PPO fruit

Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO) is een kennisinstelling voor praktijkonderzoek aan akkerbouw, groene ruimte en vollegrondsgroenten, bloembollen, bomen en fruit. Deze instelling maakt deel uit van de Plant Science

Group van het Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR), en richt zich op co-innovaties met partners uit de verschillende landbouwsectoren, wetenschap, bedrijfsleven en overheid. PPO analyseert samen met opdrachtgevers vragen over gewasbescherming, bedrijfsvoering en teelt, en vertalen deze in toepassingsgericht onderzoek en ontwikkeltrajecten. PPO en PRI hebben in gezamenlijk uitgevoerde projecten veel expertise opgebouwd op gebied van gewasbescherming en techniekontwikkeling.

### 3.3 Plan van aanpak

Het project bestaat uit 3 onderdelen :

- 1 – ontwikkeling van een autonome tractor;
- 2 – ontwikkeling van een automatische spuit;
- 3 – integratie autonome tractor en automatische spuit.

Ad 1. Onderdelen van de ontwikkeling van de autonome tractor zijn a) routebepaling, b) veiligheid, c) communicatie, d) integratie met spuit

a. Ontwikkeling van een automatisch stuursysteem

Door middel van GPS weet de trekker waar hij in de boomgaard is, waar de boomrijen zijn, de kopakkers en waar hij dus moet rijden, draaien, keren, insteken, etc. De te volgen route van de trekker kan vastgelegd worden waarna de trekker deze route autonoom kan rijden. Sensoren, elektronica en hydrauliek en software die nodig zijn om de besturing mogelijk te maken worden op de trekker opgebouwd. De trekker wordt in een boomgaard getest en waar nodig aangepast.

b. Ontwikkelen van een veiligheidssysteem

Om de autonome trekker veilig door een boomgaard te kunnen laten rijden zijn minimaal enkele veiligheidsmaatregelen noodzakelijk. Obstakels moeten gedetecteerd worden en maatregelen genomen om ze te ontwijken of de activiteiten te stoppen.

c. Communicatie met de autonome trekker

Vitale functies van de autonome trekker moeten gecontroleerd en vastgelegd worden. Bij niet goed functioneren van een functie moet een noodcircuit in werking treden en de remote bestuurder waarschuwen. In geval van een bedreigde veiligheidssituatie moet een volledige stilstand optreden met uitschakeling van het systeem en de remote bestuurder gewaarschuwd. Het systeem kan alleen weer opgestart worden nadat er een fysieke controle uitgevoerd is en er ter plekke een reset heeft plaatsgevonden.

d. Koppeling met de automatische fruitteeltspuit

De autonome trekker dient ter voortbeweging van de automatische fruitteeltspuit. Toch moet er een interactie zijn tussen trekker en fruitteeltspuit voor de controle van de functionaliteit van de spuit, opslag van de data, bijhouden van begin en eindposities voor vervolg bespuitingen, etc. De data communicatie, controle en veiligheidscommunicatie moet functioneel gemaakt worden, getest en robuust zijn voordat het veilig en goed gebruik van de trekker- fruitteeltspuit combinatie gerealiseerd kan worden.

Ad 2. Onderdelen van de ontwikkeling van de automatische spuit zijn a) variabele lucht en bladmassa afhankelijk spuiten, b) omgeving, c) besturing en d) systeemintegratie.

a. Variabele lucht (VLOS KWH) in combinatie met een bladmassa sensor.

Door middel van laser of ultrasoon sensoren is de omvang en dichtheid van het bladerdek vast te stellen. Op verschillende niveaus kan het spuitvolume aangepast worden aan de boomvorm in de boomgaard. Bovendien registreert de sensor waar wel en niet bladerdek aanwezig is zodat gaten tussen de bomen niet gespoten worden. Aan het begin en het eind van de bomenrij start en stopt de bespuiting dan ook automatisch. Door per doppositie meerdere spuitdoppen te bevestigen kan het spuitvolume in stappen aangepast worden. Hiervoor wordt elektronica ontwikkeld en software om het geheel aan te sturen.

b. Ontwikkeling van een omgevingssensor.

De windsnelheid en windrichting wordt op de spuit gebruikt om de hoeveelheid lucht links/rechts aan te passen zodat minimale hoeveelheden spuitvloeistof door het bladerdek heen gespoten worden. Hiervoor worden in het luchtsysteem van de spuit kleppen gemonteerd die met elektronica en software aangestuurd kunnen worden. Met RTK-DGPS kan de positie van de spuit in de boomgaard bepaald worden. Hierdoor kan bij een bespuiting langs de sloot automatisch de standaard spuitdop dichtgezet worden en de driftarme spuitdop open. Dit kan voor een aantal rijen langs de sloot gedaan worden die garandeert dat er een minimale hoeveelheid drift naar de sloot is. Hiervoor wordt software gemaakt die de GPS gegevens om kan zetten in stuursignaal voor het schakelen van de spuitdoppen.

c. Besturing.

Om de bovenstaande componenten op één spuit te laten werken wordt elektronica en software ontwikkeld. Signalen van de sensoren worden op een CAN-bus gezet en door een te ontwikkelen spuitcomputer verwerkt tot stuursignaal voor het schakelen van de spuitdoppen en de luchtkleppen.

d. Systeemintegratie automatische spuit.

De bovenstaande componenten bladmassa, omgeving en besturing worden opgebouwd op een spuit. De functionaliteit van de combinatie wordt getest. Noodzakelijke verbeteringen worden doorgevoerd waarna een werkend prototype gerealiseerd is. De ontwikkelde automatische fruitteeltspuit is gereed voor koppeling aan de autonome trekker.

Ad 3. Om de combinatie van de autonome trekker en de automatische fruitteeltspuit in de boomgaard aan het werk te krijgen moeten beide systemen niet alleen fysiek aan elkaar gekoppeld worden maar ook voor wat betreft de onderdelen besturing, data uitwisseling, veiligheid, controle, werking, routing. De routing door de boomgaard zal veel aandacht vragen. Alle onderdelen van de ontwikkeling van de autonome trekker en de automatische spuit zullen voor de combinatie autonome trekker en automatische fruitteeltspuit doorlopen moeten worden op functionaliteit.

## 3.4 Betekenis voor arbeid

De tijd die aan spuiten besteed wordt is in de fruitteelt groot bij een gemiddeld 15 ha bedrijf wordt één dag per week op de spuit doorgebracht. De fruitteelt besteedt deze tijd liever aan de opzet en uitvoering van teelt- en gewasbeschermingsmaatregelen waardoor de gewasbescherming tijdiger en effectiever uitgevoerd kan worden. De ontwikkeling van de combinatie autonome trekker en automatische fruitteeltspuit verlaagt de verwachte arbeidsbehoefte voor spuiten naar 10% van de huidige tijd. In een tijdspad van 5 jaar na ingebruikname van de autonome automatische spuit wordt een reductie in arbeidsbehoefte verwacht naar 10% van de huidige benodigde spuittijd.

## 3.5 Draagvlak

Binnen een lopend project Conceptonderzoek en projectontwikkeling autonoom spuiten (NFO/PT) kwam vanuit de drie fruitteelt regio's Zeeland, Betuwe en Flevoland duidelijk naar voren dat er een grote behoefte is aan het automatiseren van het spuitproces. 'We kunnen het niet meer overzien en kunnen niet alles tegelijk als we op de spuit zitten'. De telers gaven er duidelijk de voorkeur aan met een trekker+spuit combinatie te willen beginnen boven geavanceerde opties zoals een automatische tunnelspuit, meerrijen spuit of haspelsysteem zoals in de glastuinbouw. De acceptatie voor de teler is groter als met een nu bekende techniek begonnen wordt en deze geautomatiseerd wordt. Bovendien biedt de ontwikkeling van een autonoom rijdende trekker in de boomgaard ook de mogelijkheid om autonoom te maaien of de trekker in te zetten voor een plukrobot.

Deze innovatie is een vervolg op lopende ontwikkelingen in Europees verband (ISAFruit) en binnen Nederland (Certificering drie-rijige spuit; Conceptonderzoek en project-ontwikkeling autonoom spuiten). Hierbij is de uitdrukkelijke wens van de fruitteelters betrokken, die het spuitproces volledig automatisch willen laten verlopen. In het project wordt samengewerkt met het privaat bedrijfsleven. Internationale uitwisseling vindt plaats met partners binnen het ISAFruit project (Italië, Polen) en ook binnen een internationale werkgroep van onderzoekers,

die zich bezig houdt met de duurzame productie van fruit door onderzoek naar innovatieve toedieningstechnieken in de fruitteelt (SuProFruit).



## 4. Conclusie

In de fruitteelt wordt de gewasbescherming (spuiten) in het algemeen uitgevoerd met spuitmachines die bomenrij na bomenrij bespuiten. Dat betekent dat per spuitbeurt veel arbeidstijd 'verloren' gaat aan het heen-en-weer rijden in de boomgaard (circa 25 minuten per ha). Bij een bedrijfsgrootte van 15 hectare betekent dat tenminste 6 uur rijtijd. Het autonoom uitvoeren van gewasbespuitingen levert derhalve grote besparingen op arbeidskosten, en geeft de teler meer tijd om aan management van het bedrijf te besteden. Het uitvoeren van de gewasbespuitingen zou dan met een geautomatiseerde spuitmachine plaats moeten vinden, omdat de bestuurder niet meer aanwezig is. Op dit moment zijn er prototypes ontwikkeld voor sensoren die afhankelijk van de bladmassa het spuitvolume aanpassen, GPS toepassingen die afhankelijk van de positie in de boomgaard een driftarme dop of een conventionele dop gebruiken, de luchthoeveelheid van de spuit aanpassen met een windsnelheidsmeter, de luchtrichting op de spuit aanpassen op basis van de positie in de boomgaard, een gewasgezondheidssensor die schurft en meeldauw detecteert in appelblad en autonome voertuigen voor toepassing in de landbouw. In overleg met de fruitteeltsector en machinebouwers is onderzocht aan welke randvoorwaarden een autonoom, automatische spuitmachine voor de fruitteelt moet voldoen. Verschillende scenario's (prototypes) zijn uitgewerkt. Aangegeven werd dat de voorkeur uitgaat naar een combinatie van een autonome tractor en een automatische dwarsstroomspuit.

Door de verschillende onderdelen van autonoom automatisch spuiten te schetsen en uit te werken in concepten is een beeld gevormd van de succesvolheid daarvan. Op basis hiervan is 1 concept verder uitgewerkt in een projectplan wat ook als zodanig als project gestart is in samenwerking met bedrijfsleven en cofinanciering door andere partijen. Deze studie naar "Autonoom spuiten in de fruitteelt" is dus succesvol afgerond, omdat een vervolg met meerdere partijen tot stand gebracht is en wordt uitgevoerd in de praktijk (2012-2013).



## 5. Output

Tijdens het project zijn meerder momenten geweest waarop de uitkomsten van het onderzoek getoest zijn aan de praktijk van de fruittelerevenals aan de internationale onderzoekswereld.

In drie regio's is met telersgroepen overlegd wat de belangrijkste randvoorwaarden zijn voor de ontwikkeling van een autonoom, automatische spuiten in de fruitteelt.

1 augustus 2008 – Krabbendijke, Zeeland

21 augustus 2008 – Randwijk, Betuwe

8 september 2008 – Marknesse, Flevoland

### **Publicaties:**

Zande, J.C. van de, V.T.J.M. Achten & M. Wenneker, 2008. Crop adapted spray techniques, developments in orchard spraying. In: A. Landers (ed), 2008. Proceedings 1st North American Conference on Precision Fruit Spraying, Canandaigua NY, 8-9/4/2008, Cornell University, Geneva NY, USA. 2008. 7-13

Zande, J.C. van de, M.Wenneker, E. Pekkeriet & A. Nieuwenhuizen, 2009. Autonomous spraying in pomefruit orchards. In: Wenneker & Van de Zande (eds). SuProFruit 2009 -, 10th International Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing – Book of Abstracts, Wageningen: 28-29.

### **Posters:**

Zande, J.C. van de, M.Wenneker, E. Pekkeriet & A. Nieuwenhuizen, 2009. Autonomous spraying in pomefruit orchards. SuproFruit 2009. Poster op 10th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing. September 30 – October 2, 2009 Wageningen, The Netherlands.

Pekkeriet, E., M. Wenneker, G. Heijerman-Pepelman & J.C. van de Zande, 2008. Robotisering in de fruitteelt. Automatisch spuiten en fruit oogsten. Poster gepresenteerd op de Fruitkennisdag, WICC, Wageningen, December 2008.

### **Voordrachten:**

Zande, J.C. van de, 8 april 2008. Crop adapted spray techniques, developments in orchard spraying. 1st North American Conference on Precision Fruit Spraying, Canandaigua NY, 8-9/4/2008, Cornell University, Geneva NY, USA.



## **6. Bijlagen**

I Kostenoverzicht autonome trekker en dwarsstroomspuit

II Kostenoverzicht autonome tunnelspuit

III Kostenoverzicht autonome meerrijenspuit

IV Kostenoverzicht autonome haspelspuit

# I Kostenoverzicht autonome trekker en dwarsstroomspuit

autonome trekker + standaard dwarsstroomspuit						dagtarief 1000
Rechtgeleiding/besturing			RTK-DGPS basisinstallatie	12000		
	/plaatsbepaling		abonnement	800		
	RTK-DGPS					
			autostuur trekker	20000		
			sputcomputer	5000		
			bekabeling/bedrading/actuators/sensoren	1000		
			electronica	500		
			software	50000	50 dagen	
			som trekker + spuit	76500		
Functionaliteit spuiten						
	Aan/uit op goede plek		sensoren	4800	6 * 800	
		Groensensor	actuatoren	900	6*150	
		Plaatsbepaling RTK-DGPS	electronica	500		
			software	10000	10 dagen	
			som	16200		
	Fijn/driftarm spuiten					
		Plaatsbepaling RTK-DGPS	el. Kleppen in leiding	250		
			dubbele dophouders/schakelbaar	250		
			electronica	250		
			software	5000	5 dagen	
			som	5750		
Gedefinieerde vaste route in boomgaard						
	Berekenen, vastleggen		software	5000	5 dagen	
			inmeten	1000	1 dagen	
Volgende rijpad aan eind bomenrij			testen	1000	1 dagen	
	vast gedefinieerd, bv. om en om		som	7000		
	Voldoende draaicirkel, lengte combinatie, recht voorstaan					
			som spuit extra's	28950		
injectie			containers, leidingen, pompen	3000		
			sensoren	500		
Waarschuwing bijna lege tank, slim positioneren op pad aan begin/tussen/eind bomenrij voor bijvullen						
			electronica	1000		
			software	5000	5 dagen	
			testen	1000	1 dagen	
			som injectiesysteem	10500		

Werkbreedte						
	Rijdt in 1 pad:					
	Behandelt: bomenrij aan weerszijden of aan 1 zijde		trekker+spuit aanpassingen: RTK-DGPS basisinstallatie	12000		
Capaciteit: (6 km/h) – 1.5 ha/h			som trekker + spuit	76500		
			som spuit extra's	28950		
30% spuitmoeistofbesparing 30% langer rijden met zelfde spuitvolume			som injectiesysteem	10500		
			totaal	127950		
1500	L tank					
200	L/ha		Basis:			
7.5	ha per tank		trekker	45000		
			dwarsstroomspuit	15000		
Testen		testen van het geheel in de boomgaard	Onderdelen in systeem	20000	20 dagen	
			totale systeem op locatie	40000	40 dagen	
			aanpassingen	30000	30 dagen	
			testen	20000	20 dagen	
			som testen	90000		
marktrijp maken			aanpassingen	10000	10 dagen	
			uittesten	20000	20 dagen	
			demo's	20000	20 dagen	
			som marktrijp	50000		
Auto vulinstallatie		ontwikkeling autovulinstallatie om vultijden te verkleinen	standaard dichte snelvulopening op s	3000		
			snelvulinrichting op vulcontainer	3000		
			autopositie vulcontainer op middenpad	10000		
			sensoren	500		
			electronica	1000		
			software spuit+vulinstallatie	20000	20 dagen	
			testen	10000	10 dagen	
			som auto vulinstallatie	47500		
			meerprijs autonoom			
			R&D component	2560		
			componenten	16050		
			25% verkoopkosten	4652		
			marktprijs = +	23262		

## II Kostenoverzicht autonome tunnelspuit

autonome zelfrijdende tunnelspuit				dagtarief
				1000
Rechtgeleiding/besturing				
	/plaatsbepaling	RTK-DGPS basisinstallatie	12000	
	RTK-DGPS	abonnement	800	
draaien op kopakker				
		hyraulica	5000	electrisch met zonnepanel
		wielmotoren	10000	
		besturing	5000	
		electronica	1000	
		software	40000	40 dagen
		som besturing	61000	
Aan/uit op goede plek				
	Plaatsbepaling RTK-DGPS	software	20000	20 dagen
		som aan/uit spuiten	20000	
Fijn/driftarm spuiten				
	Plaatsbepaling RTK-DGPS	software	20000	20 dagen
		som driftarm spuiten	20000	
Luchtondersteuning				
	standaard			
Werkbreedte				
	Rijdt: aan weerskanten van 1 bomenrij			
	Behandelt: 1 bomenrij			
Volgende rijpad aan eind bomenrij				
	sensoren		500	2 * 250
	vast gedefinieerd, vierkant om de hoek	actuatoren	2500	
	2 rijrichtingen	electronica	500	
		software	10000	10 dagen
Tunnel afmetingen aanpassen aan boom				
		som tunnel-boomvorm aanpassing	13500	



Injectiesysteem		containers, leidingen, pompen	3000		
		sensoren	500		
		electronica	1000		
		software	5000	5 dagen	
		testen	1000	1 dagen	
		som injectiesysteem	10500		
Capaciteit: (6 km/h) – 1.5 ha/h; dubbel 3 ha/h					
30% recycling van spuitmoeistof					
30% langer rijden met zelfde spuitvolume					
		aotnome tunnelspuit			
		RTK-DGPS basisinstallatie	12000		
1500 L tank		som besturing	61000		
200 L/ha		som aan/uit spuiten	20000		
7.5 ha per tank		som driftarm spuiten	20000		
		som tunnel-boomvorm aanpassing	13500		
140 L/ha		som injectiesysteem	10500		
10.7 ha per tank		totaal	126500		
		Basis:			
		enkele tunnelspuit	40000		
		dubbele tunnelspuit	60000		
		trekker >60 pk	60000		
		zelfrijdende dubbele tunnelspuit	100000		
		meerprijs autonoom			
		R&D component	2545		
		componenten	12500		
		25% verkoopkosten	3761		
		marktprijs = +	18806		

### III Kostenoverzicht autonome meerrijenspuit

Autonome zelfrijdende meerrijige dwarsstroomspuit				dagtarief 1000
Rechtgeleiding/besturing				
/plaatsbepaling	RTK-DGPS basisinstallatie	12000		
RTK-DGPS	abonnement	800		
Volgende rijpad aan eind bomenrij	hyraulica	5000	electrisch met zonnep	
vast gedefinieerd, vierkant om de hoek	wielmotoren	10000		
2 rijrichtingen	besturing	5000		
	electronica	1000		
	software	40000	40 dagen	
	som besturing	61000		
Aan/uit op goede plek	sensoren	4800	6 * 800	
Groensensor	actuatoren	900	6*150	
Plaatsbepaling RTK-DGPS	electronica	500		
	software	10000	10 dagen	
	som alleen gewas spuiten	16200		
Fijn/driftarm spuiten	el. Kleppen in leiding	250		
Plaatsbepaling RTK-DGPS	dubbele dophouders/schakelbaar	250		
	electronica	250		
	software	5000	5 dagen	
	som driftarm	5750		
Luchthoeveelheid	sensoren	2000		
Rijsnelheid	actuatoren	4000		
Windsnelheid + richting	electronica	1000		
Positiebepaling	software	30000	30 dagen	
Bladmassahoeveelheid (ultrasoon)	som variabele lucht	37000		
Positie spuitmast aanpassen aan hoogte en breedte bladerdek boom				
	sensoren	500	2 * 250	
	actuatoren	1500		
	electronica	500		
	software	10000	10 dagen	
	som spuitmast-boomvorm aanpassi	12500		

Injectiesysteem		containers, leidingen, pompen	3000		
		sensoren	500		
		electronica	1000		
		software	5000	5 dagen	
		testen	1000	1 dagen	
		som injectiesysteem	10500		
Werkbreedte					
	Rijdt in 1 pad:	Zelfrijdende meerrijen spuit			
	Behandelt: 3 bomenrijen 1- of 2 zijdig	RTK-DGPS basisinstallatie	12000		
	Inklappen bij transport (en gerende percelen langs rand)	som besturing	61000		
		som alleen gewas spuiten	16200		
		som driftarm	5750		
Capaciteit: (6 km/h) –5 ha/h		som variabele lucht	37000		
		som spuitmast-boomvorm aanpassi	12500		
		som injectiesysteem	10500		
		totaal	154950		
		Basis:			
		meerrijen (3) spuit	40000		
		trekker>60pk	60000		
		zelfrijdende 3 rijen spuit	120000		
		meerprijs autonoom			
		R&D component	2830		
		componenten	29700		
		25% verkoopkosten	8132		
		marktprijs = +	40662		

#### IV Kostenoverzicht autonome haspelspuit

autonome haspelspuit				dagtarief
				1000
Basis:				
	luchtondersteund haspelsysteem		30000	
	dwarstransportinrichting		20000	
Aanpassingen				
	fruit geschikt maken	robuuster maken luchtondersteunde haspelinstallatie		
		mechanisch	5000	
		wieluitrusting	5000	
		spuitsysteem	10000	
		testen	5000	5 dagen
		som robuuster maken	25000	
	geleide systeem	geleiding tussen de bomen	sensoren	5000
		begin/eind rij detectie, exacte positionering	electronica	2000
			software	10000
			testen	10000
			som geleiding	27000
	locaal driftarm	driftarm spuiten langs randen	sputmast aanpassing	2000
			electronica	2000
			software	2000
			testen	10000
			som driftarm	16000
	aansturing	aansturen haspel door rij, rij voor rij	electronica	2000
		spuiten op goede plek	software	30000
		integratie componenten	testen	5000
			som aansturing	37000
	dwarsverplaatsing rijen	aanpassing dwarsverplaatsing voor boomgaard	materiaal	10000
			sensoren	3000
			electronica	2000
			software	20000
			testen	10000
			som dwarsverplaatsing	45000

Injectiesysteem	containers, leidingen, pompen	3000			
	sensoren	500			
	electronica	1000			
	software	5000	5 dagen		
	testen	1000	1 dagen		
	som injectiesysteem	10500			
	aanpassingen:				
	som robuuster maken	25000			
	som geleiding	27000			
som driftarm	16000				
som aansturing	37000				
som injectiesysteem	10500				
som dwarsverplaatsing	45000				
totaal	160500				
	Basis:				
	luchtondersteund haspelsysteem	30000			
	dwarstransportinrichting	20000			
		50000			
infratructuur bedrijfsafh.			Zeeland	Betuwe	Flevo
aansluitpunten water	per stuk	250	8	2	2
	per m vanaf erf	30	2910	535	450
aansluitpunten krachtstroom	per stuk	600	8	2	2
	per m vanaf erf	30	2910	535	450
effenen tussenpaden (als geen vast pad/beton)	per m	75	980	350	500
			254900	60050	66200
	meerprijs autonoom				
	R&D component	3005			
	componenten	33000			
	25% verkoopkosten	9001			
	marktprijs = +	45006			