

2022

Precisie-spuittechniek in de fruitteeltsector



Aeres Hogeschool
Dronten

Richard Rietveld



PRECISIE-SPUITTECHNIEK IN DE FRUITTEELTSECTOR

Opdrachtgever	Aeres hogeschool Dronten
Project	Afstudeerwerkstuk
Plaats, datum	Dronten, 7 juni 2022
Auteur	Richard Rietveld
Studentnummer	3026800
Opleiding	Agrotechniek en Management
Afstudeerdocent	Karl Selles



DISCLAIMER

Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.

VOORWOORD

Voor u ligt het onderzoek naar precisie spuittechniek wat van toepassing is op de Nederlandse hard-fruitteltsector. In het onderzoek wordt de nauwkeurigheid vastgesteld van de nieuwste technieken op gebied van gewasbescherming.

Mijn naam is Richard Rietveld, 25 jaar en student aan de Aeres Hogeschool te Dronten waar ik de opleiding Agrotechniek en Management volg. Naast mijn opleiding woon en werk ik op een fruitteltbedrijf in de provincie Zeeland, waar we op een areaal van 25 hectare appels en peren telen. Mijn interesse ligt in de techniek en de agrarische sector wat ertoe geleid heeft dat ik graag meer wilde leren over dit onderwerp. Het onderzoek is geschreven voor degene die meer willen weten over de nieuwste gewasbeschermings-technieken in de fruitteltsector.

Graag wil ik mijn coach Karl Selles bedanken voor de prettige samenwerking en ondersteuning tijdens het schrijven van mijn onderzoek. Ook wil ik mijn stagebedrijf GPX-Solutions BV bedanken voor het beschikbaar stellen van het materieel en Bert de Jong voor het beschikbaar stellen van het proefperceel.

SAMENVATTING

Smart farming staat voor digitalisering in de agrarische sector wat in de Nederlandse fruitteelt sterk in ontwikkeling is. Met de nieuwste technieken zijn we in staat om plaats specifieke bewerkingen uit te voeren op plant- of op boomniveau. Hierdoor kan er beter voldaan worden aan de behoefte van het gewas. In dit onderzoek is de nauwkeurigheid van precisie-spuittechnologie in de fruitteelt geanalyseerd. In het onderzoek wordt gemeten wat de invloed is van wind en het type spuitdop op de nauwkeurigheid van de bespuiting. Het doel van het onderzoek is dat smart farming dichterbij de praktijk staat in de fruitteeltsector.

De onderzoeksvraag werd beantwoord door middel van een experiment waarin een proefveld werd ingericht op een boom-specifieke bespuiting. De bedekkingsgraad op bespoten- en onbespoten bomen werd gemeten door middel van een steekproef met watergevoelig papier. De spuitmachine was uitgevoerd met spleetdoppen aan de rechterkant en kegeldoppen aan de linkerkant, zodat het spuitbeeld onder gelijke omstandigheden vergeleken kon worden. Door de proef in twee rijrichtingen uit te voeren werd de invloed van wind en de rijnsnelheid in kaart gebracht.

Uit het onderzoek is gebleken dat het moment van openen en sluiten van de spuitdoppen niet gelijk staat aan de afgifte op het gewas. Om dit verschil te compenseren werd een voorschakeltijd in de spuitcomputer ingesteld waarna de nauwkeurigheid toeneemt. Ook de wind van buitenaf is van invloed op de precisie van de bespuiting. Zoals verwacht buigt het spuitbeeld af naar de wind -en de rijrichting. De spleetdoppen lieten zoals verwacht ruim vier keer minder spuitmiddel achter op de onbespoten bomen dan de kegeldoppen. Anders dan verwacht is gebleken dat de nevel van de spleetdoppen zo'n drie keer fijner is dan de nevel van de kegeldoppen. Echter zorgt een fijne nevel ervoor dat er meer spuitmiddel verwaait waardoor de nauwkeurigheid van de bespuiting afneemt.

Smart farming in de fruitteeltsector kan ervoor zorgen dat arbeid en kosten bespaard worden. Geconcludeerd werd dat het mogelijk is om op boomniveau te spuiten met een nauwkeurigheid van 88%. Door een taakkaart tijdens de bloeiperiode te maken, kan de chemische vruchtdunning op boomniveau uitgevoerd worden. Op de lange termijn wordt het aanbevolen dat de fruitbomen nauwkeurig geplant zijn zodat de precisie van de bespuiting toeneemt. Op de korte termijn is het aanbevolen om de spuitinstellingen met watergevoelig papier in het veld te testen en om gebruik te maken van spleetdoppen tijdens een boom-specifieke bespuiting.

SUMMARY

Smart farming is about digitalization in the agricultural sector, which is developing strongly in the Dutch fruit sector. With the latest developments, we can carry out position-specific operations at plant or tree level. This allows us to better meet the needs of the crop. In this research, the accuracy of precision spraying technology in fruit cultivation is analyzed. The research measured the influence of wind and the type of nozzle on the accuracy of the spraying. The aim of the research is to bring smart farming closer to practice in the fruit growing sector.

The research question was answered by using a spraying experiment in which a test field was set up for a tree-specific spraying. The degree of coverage on sprayed and unsprayed trees was measured by using water sensitive paper. The sprayer was adjusted with flat fan nozzles on the right and cone nozzles on the left, so the spray pattern could be compared under the same conditions. By running the test in two directions, the influence of wind and driving speed was identified.

The research has confirmed that the moment of opening and closing of the nozzles is not equal to the emission on the crop. To compensate this difference, a preset was installed in the spray computer. As expected, the spray pattern bends towards the direction of the wind and the driven direction. Contrary to expectations, the spraying pattern of the flat fan nozzles is about three times finer than the cone nozzles. However, a fine spraying pattern causes more drift, which reduces the accuracy.

Smart farming in the fruit sector can save labor and costs. It was concluded that it is possible to spray at tree level with an accuracy of 88%. By making a task map during the flowering period, chemical thinning can be done at tree level. In the long term, it is recommended that the fruit trees are planted accurately to increase the precision of the spraying. In the short term, it is recommended to test the spray settings with water-sensitive paper in the field and to use flat fan nozzles during a tree-specific operation.

INHOUDSOPGAVE

Hoofdstuk 1: Inleiding	8
1.1 De Nederlandse fruitteeltsector	8
1.2 Smart Farming in de fruitteelt	9
1.3 Precisiespuittechnologie	10
1.4 Plaatsspecifieke vruchtdunning	11
1.5 Innovaties in de fruitteeltsector	12
1.6 Vraagstukken precisie spuiten in de fruitteeltsector	16
1.7 Vraagstuk in het onderzoek	19
Hoofdstuk 2: Materiaal en methode	21
2.1 Soort onderzoek.....	21
2.2 Onderzoekslocatie	21
2.3 Proefopzet	21
2.4 Meetprotocol en betrouwbaarheid	25
2.5 Verzamelen van gegevens	26
2.6 Omstandigheden in het veld.....	27
2.7 Uitwerken van resultaten	27
Hoofdstuk 3: Resultaten uit het onderzoek	28
3.1 Omstandigheden tijdens de proef	28
3.2 Opnamevergelijking nat en droog	29
3.3 Nulmeting rijpsnelheid.....	30
3.4 Nulmeting Volledige dosering.....	31
3.5 Resultaten Deelvraag 1	32
3.6 Resultaten deelvraag 2	33
Hoofdstuk 4: Discussie op het onderzoek	35
4.1 Belangrijkste resultaten uit het onderzoek.....	35
4.2 Discussie op de resultaten van deelvraag 1	35
4.3 Discussie op de Resultaten van deelvraag 2	36
4.4 Reflectie op de onderzoeksmethode	37
Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen	38
5.1 Doel van het onderzoek.....	38
5.2 uitkomsten op de onderzoeksvragen	38
5.3 Aanbevelingen	39
Bibliografie	40
Bijlage A: Relevante onderzoeksinstellingen.....	43
Bijlage B: Indeling en de eigenschappen van het proefperceel.	44
Bijlage C: Erkenning driftreductie op- en zijwaartse spuittechnieken in de fruitteelt.	47

Bijlage D: Informatieblad Lochmann NL dwarsstroomsput met Air Closing System	48
Bijlage E: Z-score tabel	50
Bijlage F: Resultaten, percentage bedekking.	51
Bijlage G: Resultaten, vergelijking spleetdoppen en kegeldoppen.	52



HOOFDSTUK 1: INLEIDING

In het eerste hoofdstuk wordt er gekeken naar de ontwikkelingen op het gebied van smart farming binnen de fruitteelt en boom-specifieke spuittechnieken. Vervolgens worden vraagstukken uit de sector beschreven waarna de vraagstelling van het onderzoek is opgesteld. Aansluitend wordt er in hoofdstuk twee uitgelegd welke methode er toegepast zal worden voor het onderzoeksvraagstuk, gevolgd door de werkwijze van het onderzoek. Nadat het onderzoek is uitgevoerd worden de resultaten in hoofdstuk drie beschreven. In hoofdstuk vier is de discussie op het onderzoek beschreven waarna in hoofdstuk vijf de conclusie weergegeven is.

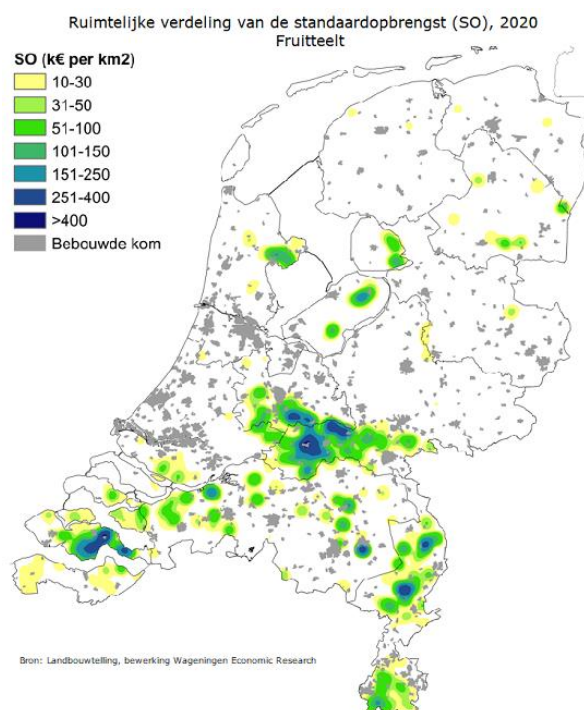
1.1 DE NEDERLANDSE FRUITTEELTSECTOR

In Nederland worden veel verschillende soorten fruit geteeld, welke in verschillende categorieën opgesplitst kunnen worden. Onder de categorie zacht fruit vallen de fruitsoorten zoals aardbeien, druiven, bessen en frambozen welke door de korte bewaartijd echte seizoenvruchten zijn. Daarnaast onderscheiden we de categorie steenvruchten waaronder de kersen, abrikozen, nectarines, pruimen en perziken vallen. Ook deze vruchten zijn door de korte bewaartijd seizoenvruchten. Tot slot onderscheiden we binnen Nederland de categorie hardfruit waaronder de appels en peren vallen. Deze fruitsoorten zijn stevig, lang houdbaar en daardoor het hele jaar rond te koop in de supermarkt. In het jaar 2020 waren er in totaal 2.676 fruitteeltbedrijven in Nederland gevestigd welke op een areaal van 16.155 hectare appels en peren teelden. De overige fruitsoorten binnen Nederland werden op een areaal van 3.771 hectare geteeld. Omdat hardfruit het grootste aandeel in de Nederlandse fruitteeltsector bevat, is dit onderzoek op deze categorie gericht (Wageningen University & Research, 2021).

Een groot deel van de fruitteeltbedrijven zijn gevestigd in de provincies Zeeland, Noord-Holland en Flevoland waar veel zeeklei te vinden is. De overige fruitteeltbedrijven zijn voornamelijk gevestigd in de provincies Gelderland, Utrecht, en Limburg waar veel rivierklei te vinden is. De bedrijven zijn gevestigd in gebieden met kleigronden omdat deze bodemeigenschappen het beste zijn voor de fruitbomen (Tagliavini, Massimo; Marangoni, Bruno, 2002). De ruimtelijke verdeling van de fruitteelt in Nederland is te zien in figuur 1.

Figuur 1

Ruimtelijke verdeling van fruitteelt in Nederland.



Opmerking. Overgenomen uit *Veel fruitteelt in de Betuwe, Zeeland en Limburg*, door (Wageningen University & Research, 2021) (<https://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2232§orID=2237&themaID=2285>), 2020, Agrimatie.

Binnen het aandeel geteelde appels, ten opzichte van het areaal geteelde peren, is in de afgelopen 20 jaar een verschuiving te vinden. In het jaar 2000 werd er 12.800 hectare appels en 6.000 hectare peren geteeld en in het jaar 2020 was dit 6.100 hectare appels en 10.000 hectare peren (Wageningen University & Research, 2021).

Verder is het aantal fruitteeltbedrijven in Nederland de afgelopen 20 jaar met een kwart afgenomen, wat te maken heeft met de schaalvergroting binnen de agrarische sector en de beëindiging van verschillende ondernemingen. De schaalvergroting heeft ertoe geleid dat fruitteeltbedrijven groter werden en efficiënter zijn gaan werken door onder andere technische ontwikkelingen.

1.2 SMART FARMING IN DE FRUITTEELT

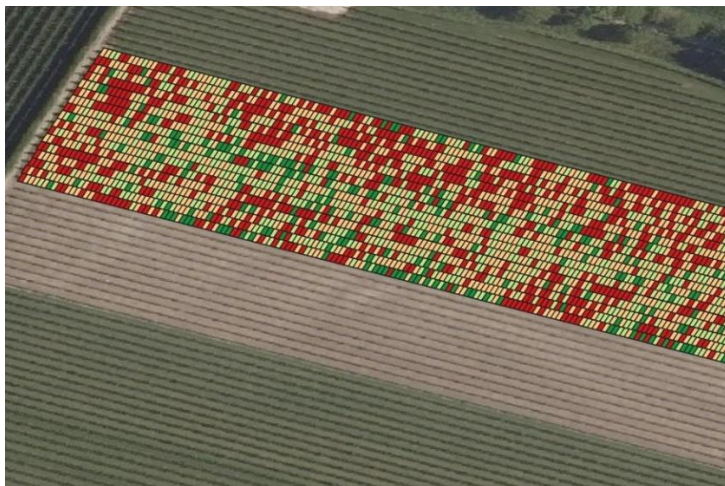
Veel technische ontwikkelingen van de afgelopen jaren binnen de fruitteeltsector zijn gebaseerd op Smart Farming. Smart Farming is een data gedreven teeltmethode welke ervoor zorgt dat het gewas een optimale behandeling krijgt, zodat de opbrengst verhoogd wordt. De data wordt verzameld door camera's of sensoren welke het gewas analyseren en de gemeten data vastleggen in een digitale kaart. Vervolgens kunnen machinale bewerkingen in het gewas, op basis van deze digitale kaart, plaatsspecifiek uitgevoerd worden. Om ervoor te zorgen dat de plaatsspecifieke behandeling overeenkomt met de locatie op de digitale kaart, is een gps-systeem benodigd. Dit systeem bepaald op basis van coördinaten de exacte locatie van de machine in het werkveld en kan op basis van deze coördinaten een handeling uitvoeren

Tot heden is Smart Farming binnen de fruitteelt niet veel toegepast omdat bestaande aanplanten, ouder dan tien jaar, niet op basis van GPS zijn geplant. Dit betekent dat de rijlijnen welke het gps-systeem aanneemt niet overeenkomen met de geplante bomen in het veld. Daarnaast is het, anders dan in de akkerbouw, in een boomgaard niet mogelijk om jaarlijkse grondbewerkingen uit te voeren waarin bijvoorbeeld een plaats specifieke bemesting uitgevoerd kan worden.

Ook vragen fruitbomen om een zijdelingse bewerking in tegenstelling tot een neerwaartse bewerking, omdat de fruitbomen tot een hoogte van 4 meter kunnen groeien. Huidige gps-systemen zijn niet in staat om een 3D beeld van de boomgaard te creëren, wat het moeilijk maakt om zijdelingse bewerkingen op basis van taakkaarten uit te voeren. Echter hebben de afgelopen jaren veel ontwikkelingen plaatsgevonden welke ervoor zorgen dat bestaande boomgaarden toch geschikt zijn voor machinale bewerkingen door middel van GPS. In figuur 2 is een voorbeeld van een taakkaart te zien welke ingezet wordt in de fruitteelt. Doordat elke boom op het perceel een eigen vakje op de kaart heeft, kan bij elke boom een variërende taak uitgevoerd worden.

Figuur 2

Taakkaart van een boomgaard waarin bij elke boom een variërende taak uitgevoerd kan worden.



Opmerking. Overgenomen uit *Nieuws*, door (René Bal, 2022), (<https://smartfarming.nl/nieuws/2022/01/31/zeeuwse-fruitteler-bespaart-kosten-met-precisietechnieken>), 2022, Smartfarming.

Smart farming in de fruitteeltsector heeft de afgelopen decennia een grote ontwikkeling doorgemaakt, wat te maken heeft met het grote aantal onderzoeken door verschillende instanties. Een aantal van deze onderzoeken zijn uitgelicht in bijlage A.

1.3 PRECISIESPUITTECHNOLOGIE

Een effectieve methode om Smart Farming in de fruitteeltsector toe te passen is door middel van de spuitmachine, welke gewasbeschermingsmiddelen aanbrengt in het gewas. Niet alleen in de gangbare, maar ook in de biologische fruitteelt wordt de spuitmachine ingezet om ervoor te zorgen dat er een goed product aan de bomen kan groeien (Orpet, Robert J; Jones, Vincent P; Beers, Elizabeth H; Reganold, John P; Goldberger, Jessica R; Crowder, David W, 2019). Het grootste aandeel van bespuitingen welke binnen de fruitteelt toegepast wordt, is niet gericht op het bestrijden van bijvoorbeeld insecten. Het merendeel van de gewasbeschermingsmiddelen zorgt ervoor dat de boom en de vruchten optimaal kunnen groeien en hun kwaliteit behouden. Zo worden er vloeibare meststoffen in de boom aangebracht welke precies op de juiste plek terecht komen, zorgen wond-helingsmiddelen ervoor dat schimmels en bacteriën zich niet kunnen vestigen en zorgen slimme, biologische bestrijdingsmiddelen ervoor dat insecten niet aangetrokken worden door de boomgaard. Een voorbeeld hiervan is de witte-klei bespuiting in het voorjaar, welke ervoor zorgt dat de perenbladvlo geen eitjes in de boom legt. Deze bespuiting is te zien in figuur 3.

Figuur 3

Biologische witte-klei bespuiting tegen het vestigen van de perenbladvlo in een boomgaard.



Opmerking. Overgenomen uit Bestrijding perenbladvlo, door (Harold van den Boogaard, 2021), (<https://agrea.nl/bestrijding-perenbladvlo/>), Agrea.

Naar aanleiding van het project “Fruit 4.0” is dit onderzoek opgesteld waarin ingezoomd wordt naar de precisiespuittechnologie op boomniveau in de hardfruitsector. Deze technologie kan bijdragen aan het efficiënt toepassen van gewasbeschermingsmiddelen, wat de toekomstbestendigheid van de fruitteeltsector vergroot en een egalier gewas op kan leveren. Voor de fruitteeler is het van belang dat een fruitperceel zo homogeen als mogelijk is, omdat er op deze manier precies aan de behoeften van de boom voldaan kan worden. Wanneer er veel variatie op boom-niveau binnen een perceel aanwezig is, zullen de bewerkingen en handelingen op basis van het gemiddelde uitgevoerd worden. Het gevolg hiervan is dat de ene boom een overdosis krijgt en de andere boom een onder dosis.

Project “Fruit 4.0” van Wageningen University en Research.

In maart 2017 is Wageningen University en Research van start gegaan met het project Fruit 4.0 KV 1604-025 onder projectleider ir. PF (Peter Frans) de Jong.

PF de Jong (Peter Frans de Jong, 2018) over het project:

Het doel van het project Fruit 4.0 is het verhogen van kwaliteit, duurzaamheid en efficiëntie van de Nederlandse hardfruitketen door betere teelt- en managementinformatie. Binnen het project wordt gewerkt aan praktische en betaalbare technologische innovaties voor data gedreven fruitteelt. Zoals het monitoren van bloesem en vruchtontwikkeling in de boomgaard voor gerichtere vruchtdunning en betere oogstprognoses.

1.4 PLAATSSPECIFIEKE VRUCHTDUNNING

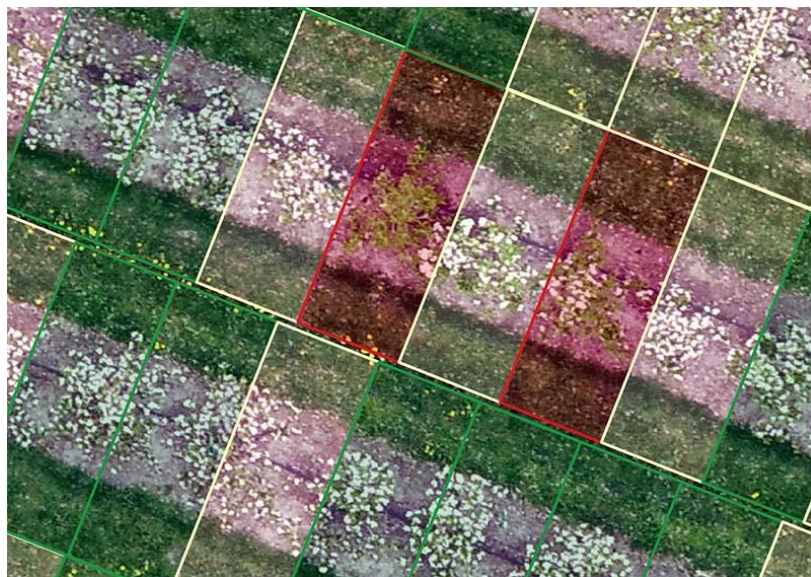
Een specifieke term uit de fruitteeltsector welke vaak voorkomt bij precisiebespuiting is vruchtdunning. Vruchtdunning bij fruitbomen houdt in dat het aantal vruchten aan de boom gereduceerd wordt, zodat er voldoende ruimte en groeikracht is om alle vruchten te laten groeien. Doorgaans gebeurt dit met de hand rond de maand augustus waarin de appels en peren ongeveer 30 millimeter in doorsnede zijn. Afhankelijk van het aantal vruchten wat aan de boom hangt, is dit werk tijdrovend en zorgt voor een grote kostenpost. Om de hoeveelheid handwerk in de zomerperiode te reduceren wordt er in het voorjaar tijdens de bloei vaak gebruik gemaakt van zogenaamde chemische vruchtdunning. In dit proces wordt er door middel van een boomgaardspuit een middel op de boom aangebracht welke, afhankelijk van het toegepaste middel, ervoor zorgt dat de hormoonhuishouding of de fotosynthese in de plant wordt aangetast waardoor de natuurlijke vruchtenrui in de boom wordt versterkt (Luis Gonzalez; Estanis Torres; Gloria Àvila; Joan Bonany; Simó Alegre; Joaquim Carbó; Begoña Martín; Inmaculada Recasens; Luis Asin, 2019).

Door deze bespuiting plaatsspecifiek uit te voeren, kan door middel van Smart Farming ervoor gezorgd worden dat elke boom de dosis krijgt welke het nodig heeft. Op deze manier krijgen de bomen welke veel vruchten dragen een hogere dosis en de bomen welke weinig vruchten dragen een lagere dosis. Om de dosis van elke boom te bepalen worden er tijdens de bloeiperiode beelden van de boomgaard gemaakt door middel van een drone. In de bloeiperiode is er een goed contrast waarneembaar tussen bomen met veel en weinig bloesem waardoor aan de hand van rekensoftware de dosering bepaald kan worden.

Doordat elke boom de dosering krijgt welke het nodig heeft, ontstaat er een egalier gewas waardoor arbeidskosten gereduceerd worden en de kwaliteit van het fruit verbeterd wordt. Wanneer elke boom binnen het perceel ongeveer hetzelfde aantal vruchten draagt kunnen bespuitingen en bemestingen gedurende het groeiseizoen beter afgestemd worden op de behoeften. Tevens kan er efficiënter omgegaan worden met irrigatiewater doordat bomen met veel vruchten meer water nodig hebben dan bomen met weinig vruchten. Het domino-effect hiervan is dat er geen overmatige groei bij bomen met weinig vruchten plaatsvindt, wat voor een arbeidsbesparing tijdens het snoeien zorgt. In figuur 4 is een voorbeeld van een drone-opname te zien, waarin een boom met weinig bloesem een andere waarde krijgt dan een boom met veel bloesem.

Figuur 4

Dronebeelden van de bloesemdichtheid in een boomgaard op boom-niveau.



Opmerking. Overgenomen uit Demoproef bij NPPL-teler toont meerwaarde boomspecifiek fruittellen, door (Wouter van Teeffelen, 2021), (<https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/demoproef-bij-nppl-teler-toont-meerwaarde-boomspecifiek-fruittellen/>), proeftuinprecisielandbouw.

De grootste uitdaging tijdens het maken van een boom-specifieke taakkaart, is het bepalen van het hart van de boom. Doordat de beelden van bovenaf genomen worden is het lastig om te zien waar de stam van de boom zich bevindt. Wanneer het centrum van de boom verkeerd bepaald wordt, zal de boom-specifieke bespuiting niet overeenkomen met de werkelijkheid.

1.5 INNOVATIES IN DE FRUITTEELTSECTOR

De afgelopen jaren is er al veel ontwikkeling gedaan naar precisie technieken welke het mogelijk maken om een boom-specifieke bespuiting uit te voeren. Deze nieuwe ontwikkeling wordt ook wel precisiefruitteelt genoemd.

WAT IS PRECISIEFRUITTEELT

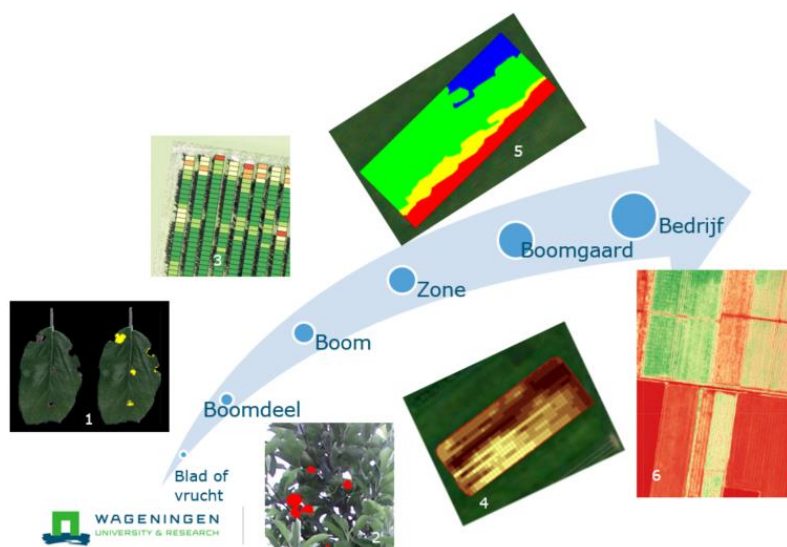
De term precisiefruitteelt is afgeleid van de precisielandbouw, waarin plaatsspecifiek handelingen in het werkveld uitgevoerd worden om ervoor te zorgen de beschikbare grond efficiënt wordt benut. De basis van precisielandbouw begint bij het optimaal inzaaien of poten van een perceel zodat er geen ruimte verloren gaat en daardoor een hoger rendement behaald kan worden. Dit gebeurt door op basis van GPS-besturing tractoren en machines zo precies te laten rijden dat er geen overlap plaatsvindt.

De afgelopen decennia is de precisielandbouw verder ontwikkeld waarna plaatsspecifieke handelingen uitgevoerd kunnen worden. Niet alleen in de akkerbouw, maar ook in de fruitteelt is er binnen een perceel variatie in de bodem aanwezig, wat de groei en bloei van de gewassen kan laat variëren. Deze variatie is ontstaan door natuurlijke afzettingen van materiaal over het land of door bijvoorbeeld hoogteverschillen in het land. Door de bodemverschillen in kaart te brengen kan de bemesting op het perceel plaatsspecifiek aangepast worden aan de behoeften.

De laatste ontwikkeling in de precisieteelt is het plaatsspecifiek uitvoeren van bewerkingen in het land op plant -of op boomniveau. Hierdoor is het mogelijk om bijvoorbeeld alleen te spuiten wanneer er ongedierte of onkruid op deze plaats aanwezig is. Dit zorgt ervoor dat er veel gewasbeschermingsmiddelen bespaard kunnen worden en verlaagt tegelijkertijd de impact op het gewas en de omgeving. De precisieniveau 's welke bij smart farming toegepast worden zijn weergegeven in figuur 5.

Figuur 5

Precisieniveau 's welke toegepast kunnen worden in de fruitteeltsector bij gebruik van smartfarming.



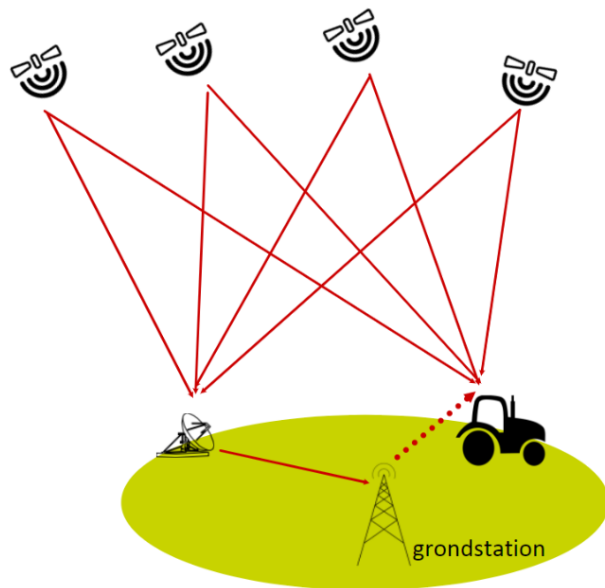
Opmerking. Overgenomen uit *Precisieniveau's in de fruitteelt*, door (Jong, Peter Frans de, 2021), (<https://wiki.groenkennisnet.nl/display/FEB2/Precisiefruitteelt>), wiki.groenkennisnet.

WERKING VAN GPS-AANSTURING

De term GPS staat voor Global Positioning System en is ontwikkeld in de jaren 60 door het Amerikaanse leger. Naast het Amerikaanse GPS systeem genaamd NAVSTAR zijn er inmiddels meerdere plaatsbepaling-systemen in omloop zoals het Russische GLONASS en het Europese Galileo systeem. De verzamelnaam van deze systemen is GNSS en staat voor Global Navigation Satellite System. GNSS werkt door middel van een stelsel van signaal sturende satellieten, welke in een vaste baan rond de aarde draaien. Een vaste ontvanger op het land berekend continue de afstand tussen een aantal satellieten en het voertuig. Om de positie van het voertuig te kunnen bepalen moet de ontvanger minimaal met vier satellieten in verbinding staan waarna de positie van het voertuig tussen de tien en 20 meter nauwkeurig berekend kan worden. Om plaatsspecifieke bewerkingen in het land uit te kunnen voeren is deze nauwkeurigheid echter onvoldoende. Om deze nauwkeurigheid te vergroten zijn er op de aarde verschillende vaste grondstations geplaatst, welke correctiesignalen sturen naar de ontvanger van het voertuig. Het gps-netwerk en de signalen naar de machine zijn weergegeven in figuur 6. Er zijn verschillende correctiesignalen op abonnement basis beschikbaar waarvan RTK de meest nauwkeurige is. RTK staat voor Real Time Kinematic en heeft een afwijking van maximaal twee centimeter, wat voldoende is voor het plaatsspecifiek uitvoeren van bewerkingen in het land (R.P. Van Zuydam, 1999).

Figuur 6

Gps-netwerk en correctiesignalen welke benodigd zijn voor een positionering op 2 centimeter nauwkeurig.



Opmerking. Overgenomen uit *RTK correctie*, door (NPPL, 2022), (https://aeres.instructure.com/courses/2785/pages/week-6-introductie-precisielandbouw-and-sensoren?module_item_id=163570), Aeres Hogeschool.

HET MAKEN VAN EEN TAAKKAART

Voordat een plaats specifieke bewerking op een perceel uitgevoerd kan worden, moet de desbetreffende machine weten welke taak uitgevoerd dient te worden. Het maken van een taakkaart begint bij het waarnemen en vastleggen van variabelen binnen een perceel. Het waarnemen van variabelen gebeurt door bijvoorbeeld satellietbeelden, bodemscans of dronebeelden welke gelijktijdig de data vastleggen op de daarbij horende coördinaten.

De data welke tijdens de metingen zijn vastgelegd, zijn niet direct bruikbaar voor de machine welke de bewerking uit gaat voeren. De data, welke bijvoorbeeld bestaan uit een kleurverschil, een hoogteverschil of een variatie aan getallen, moeten vertaald worden naar een taakkaart welke de machine kan lezen. Het omzetten van deze data is specialistisch werk en wordt uitgevoerd op een computer. Nadat de meting geconfigureerd is naar een leesbaar bestand voor de machine, wordt de data geüpload in de computer van de machine waarna de bewerking uitgevoerd kan worden. De computer van de machine zet de data om naar een bewerking welke overeenkomt met de positiebepaling van het GPS-systeem. Op deze manier is de machine in staat om plaats specifiek een variërende dosering of handeling uit te voeren op het perceel.

De laatste jaren zijn er verschillende programma's en applicaties ontwikkeld welke het verwerken van de data gemakkelijker maakt. Speciaal voor de fruitteelt is er een softwarepakket op de markt genaamd Agromanageer. Dit pakket maakt het mogelijk om de gemeten data op te slaan en te verwerken naar een bruikbare taakkaart voor de machine.

DATA VERZAMELEN MET EEN DRONE

Voordat er een taakkaart gemaakt kan worden van een perceel, moet er eerst data verzameld worden. Een veelgebruikte methode hiervoor is door gebruik te maken van een drone. De drone, welke is uitgerust met een speciale camera, vliegt over het veld heen en slaat de gemeten data op in een digitale kaart. Voor een boom-specifieke vruchtdunning wordt de drone ingezet om de hoeveelheid bloesem aan de bomen te meten. Doordat

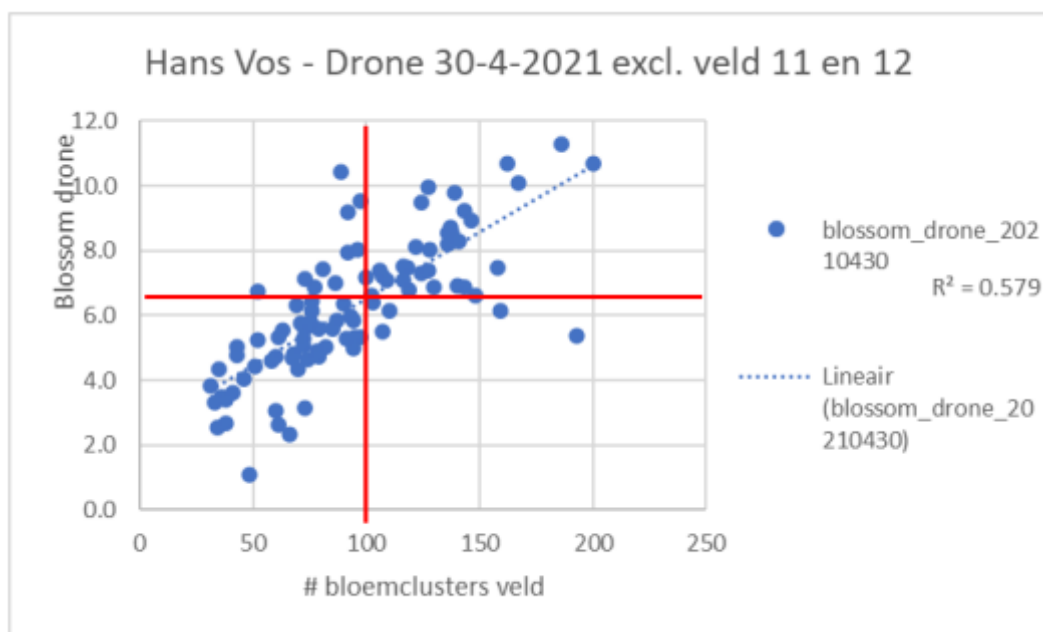
fruitbomen in het voorjaar witte of roze bloesem dragen is dit contrast met de ondergrond goed waarneembaar vanuit de lucht. Nadat de beelden zijn samengevoegd tot een compleet perceel wordt er een raster over het perceel gelegd waarna elke boom een eigen vakje heeft. De hoeveelheid bloesem per boom wordt toegekend door een rekenmodel waarna elk vakje een unieke waarde krijgt. Vervolgens wordt deze waarde omgezet naar een dosering in liters per hectare welke door de gebruiker ingesteld kan worden. Op deze manier kan ervoor gekozen worden om bomen met weinig bloesem een lagere dosering te geven dan de bomen met veel bloesem. De vakjes in de taakkaart kunnen door de spuitmachine herkend worden waarna de bijbehorende dosering uitgevoerd wordt in het veld.

Afgelopen jaar heeft Wageningen University & Research een proef uitgevoerd waarin de gemeten data vanaf de drone vergeleken wordt met een handmatige bloesemtelling. In de proef is gebruik gemaakt van een spuitmachine met sectiecontrole welke kan schakelen of een boom wel of niet gespoten dient te worden. Door een grenswaarde in de taakkaart in te stellen kiest de gebruiker ervoor vanaf welke waarde er gespoten wordt.

Nadat de taakkaart gemaakt is met de daarbij horende grenswaarde, is door middel van een steekproef in het veld handmatig een telling uitgevoerd. De grenswaarde in deze proef was minimaal 100 bloemclusters per boom, of een grenswaarde van 6,5 vanuit de taakkaart. De resultaten van de proef zijn weergegeven in figuur 7. In het figuur is een rode kruislijn te zien welke de grenswaarde aangeeft voor wel of niet spuiten. De verticale lijn is de grenswaarde volgens de handmatige telling en de horizontale lijn is de grenswaarde volgens de drone telling. De blauwe stippen zijn de bomen welke ingedeeld zijn per hoeveelheid bloesem. Uit de proef is gebleken dat 90% van de bomen correct gespoten worden aan de hand van de drone telling. De afwijking van tien procent heeft met name te maken met het positioneren van de bomen op de kaart. Niet alle bomen staan precies op de locatie waar het raster geplaatst wordt waardoor de grenswaarde af kan wijken van de handmatige telling.

Figuur 7

Proefresultaten van het vastleggen van het aantal bloesem per boom door middel van dronebeelden en handmatige tellingen.



(Dalfsen, Pieter van, 2021)

PWM-SPUITTECHNOLOGIE

Om ervoor te zorgen dat er -plant of boom specifiek bespoten kan worden, is PWM-spuitechnologie op de markt gebracht welke sneller en nauwkeuriger kan schakelen. Dit zorgt ervoor dat er niet alleen gekozen kan worden of een boom wel niet gespoten wordt, maar ook de dosering kan per boom ingesteld worden.

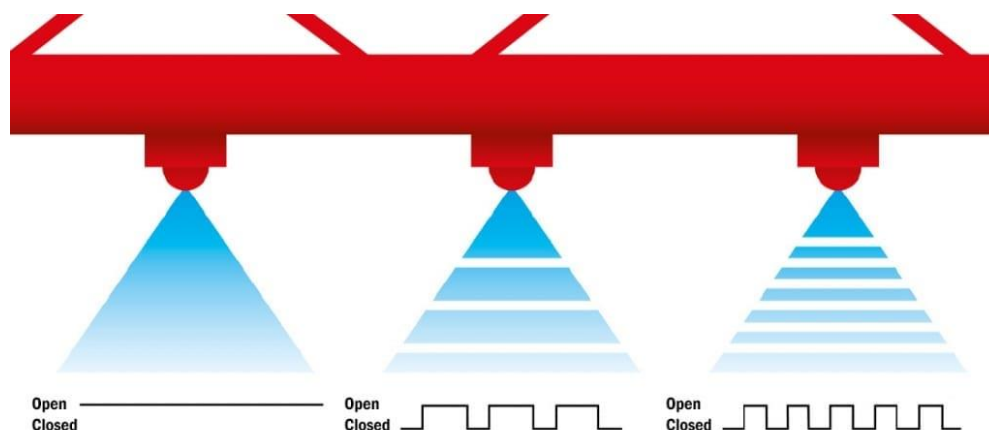
In het rapport van WUR met de titel “Analyse van de Spotspray van een PWM-spuitdop” is PWM-spuitechnologie als volgt uitgelegd:

Sensor gestuurde spuitsystemen waarmee door middel van een sensor kwantitatief een aantasting of hoeveelheid onkruid (biomassa) in het veld gemeten kan worden vragen om spuitsystemen met een variabele dosering. Eén methode om dat te realiseren is met een Pulse Width Modulation (PWM) techniek het debiet van de spuitdop te variëren. Dit PWM-systeem bestaat uit een dophouder met daarin een klep die tijdens de bespuiting met een hoge frequentie (PWM-cyclus) open en dicht wordt gezet. Met deze debietinstellingen kunnen spotsprays worden gegenereerd om individuele planten een plantaafhankelijke of specifieke dosis aan gewasbeschermingsmiddel te geven. Bij een spotspray wordt de dop meerdere PWM-cycli opengezet. Er is dus sprake van een PWM-cyclustijd die veel korter is dan de lengte van de spotspray (T.T. Groot, P. van Velde, H. Stallinga, A. Nieuwenhuizen, H.J. Holterman, 2014, p. 19).

In figuur 8 is de schematische werking van PWM-technologie op een spuitmachine weergegeven.

Figuur 8

Schematische weergave van PWM-techniek op een spuitmachine.



Opmerking. Overgenomen uit *Regeling per spuitdop*, door (Roeland Coopman, 2020), (<https://www.agrifac.com/nl/duurzame-landbouw/pulsbreedtemodulatie-pwm-spuiten/>), Agrifac.

PWM-spuitechnologie is ontwikkeld voor de landbouw en zorgt ervoor dat in bochten over de gehele spuitbreedte dezelfde dosering afgegeven wordt. In de fruitteelt wordt PWM-techniek toegepast om boom specifiek een variabele dosering af te geven. Tevens biedt deze technologie de mogelijkheid om bijvoorbeeld de bovenste helft van de fruitbomen een andere dosering te geven dan de onderste helft van de boom doordat elke spuitdop onafhankelijk gestuurd kan worden (Jonathan Fabula; Ajay Sharda; Joe D. Luck; Edwin Brokesh, 2020).

1.6 VRAAGSTUKKEN PRECISIE SPUITEN IN DE FRUITTEELTSECTOR

Ondanks dat er veel onderzoek en ontwikkeling gedaan is naar precisie-teelttechnieken, is er nog veel onbekend over de werking in de praktijk. Niet alleen zijn er verschillende externe factoren welke de nauwkeurigheid beïnvloeden, maar ook de uitrusting van de spuitmachine zelf kan verschil maken.

Boom-specifieke bespuiting nog weinig toegepast.

Ondanks dat er al veel bekend is over het verzamelen van data, het maken van taakkaarten en het uitvoeren van plaatsspecifieke bewerkingen wordt boom-specifiek spuiten in de fruitteelt nog weinig toegepast.

In het nieuwsbericht van de NPPL met de titel “*Precisiespuiten fruitteelt*” wordt op de huidige status van de techniek als volgt uitgelegd:

Status:

Technieken zijn redelijk praktijkrijp (7 op een schaal van 1-10), staat in het begin van marktintroductie.

Waarom nog weinig toegepast?:

- 1 Onbekendheid met de mogelijkheden;
- 2 Kosten/batenverhouding voor teler onvoldoende inzichtelijk;
- 3 Complexe materie, veel variabelen” (Nationale proeftuin precisie landbouw, 2021).

In de technieksector is al veel bekend over plaatsspecifiek spuiten en ook voorlichters en dronewerkers hebben technieken voor handen om geschikte taakkaarten te produceren voor de fruitteler. Echter is het voor de fruitteler zelf complex en tijdrovend om data te verzamelen en te verwerken, om er vervolgens een plaatsspecifieke bespuiting mee uit te voeren in het werkveld. Daarnaast is er voor de fruitteler weinig ruimte om te experimenteren omdat het wettelijk vastgestelde aantal bespuitingen en de dosering niet overschreden mag worden.

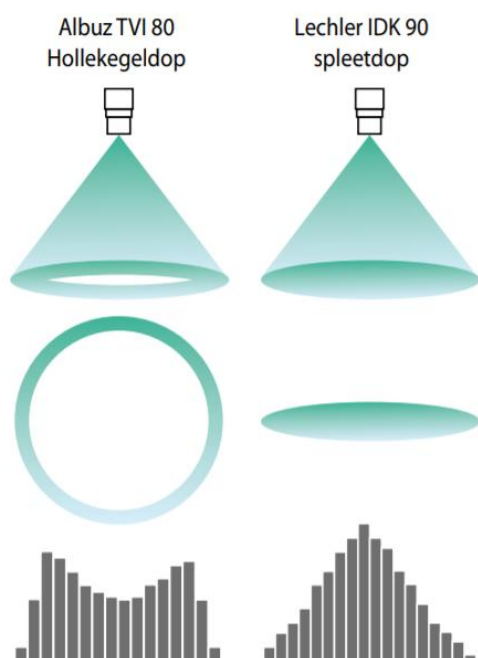
Om ervoor te zorgen dat precisiefruitteelt technieken bij de gemiddelde fruitteler toegepast gaan worden is het van belang dat er veel onderzoek gedaan wordt in de praktijk. Door de precisiespuit technieken in de praktijk te testen, wordt het effect van externe factoren op de nauwkeurigheid van het spuitbeeld vastgesteld. Zowel voor de fabrikant van precisietechnieken als voor de fruitteler is het van belang om de invloed van externe factoren vast te stellen.

Onbekende verschillen tussen spleet -en kegeldoppen.

Naast de aansturing van de spuitmachine zijn de spuitdoppen waarmee de spuit is uitgevoerd van invloed op de nauwkeurigheid. Voor een boom-specifieke bespuiting is het van belang dat de spuitmachine snel en precies kan schakelen. Het is hierbij gewenst dat het spuitbeeld smal is en dat de vertragingstijd tussen het openen en sluiten van een spuitdop minimaal is. Om ervoor te zorgen dat de vloeistof tot diep in de boom aangebracht wordt zijn huidige fruitteelt-spuitmachines uitgerust met zogenaamde kegeldoppen. De kegelvorm zorgt ervoor dat de spuitvloeistof via twee hoeken op de boom aangebracht wordt. Echter zorgt deze spuitdop ervoor dat het spuitbeeld breed is waardoor een boom-specifieke bespuiting minder nauwkeurig is. Om de precisie van de spuittechniek te verbeteren worden boom-specifieke bespuitingen vaak uitgevoerd met spleetdoppen welke in verticale richting op een rij geplaatst zijn. Echter ligt de focus bij boom-specifieke bespuitingen vaak op de precisie en niet op de bedekking en de doordringbaarheid van de spuitvloeistof. In figuur 9 is de vergelijking tussen spleetdoppen en kegeldoppen weergegeven.

Figuur 9

Verskil tussen spleetdoppen en kegeldoppen waarmee een spuitmachine uitgerust kan worden.



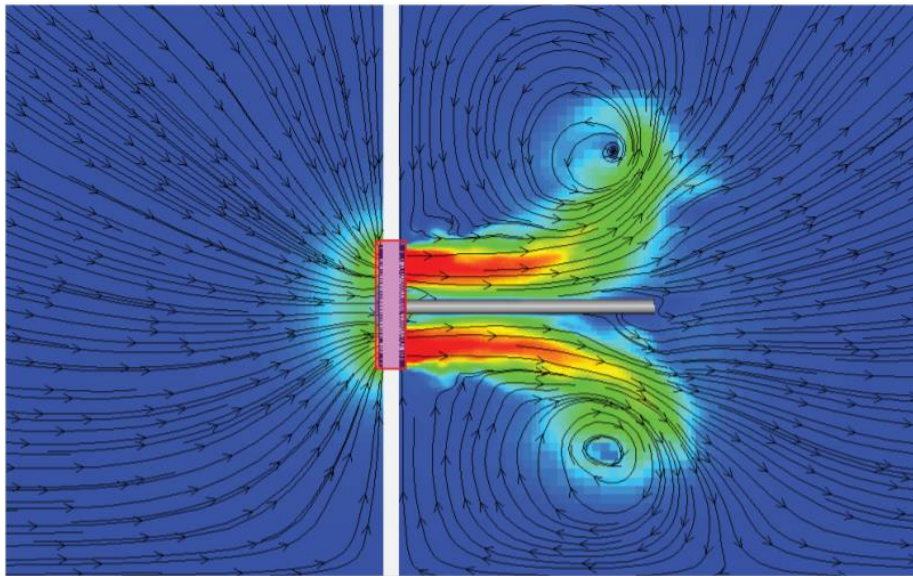
Opmerking. Overgenomen uit Nieuwe spleetdop scoort goed, door (Ruysen, Kris, 2018), (https://www.pcfruit.be/sites/default/files/ruysen_kris_fruit2018_05_nieuwe_spleetdop_scoort_goed_lechler_idk_90.pdf), pcfruit.

Wanneer gekeken wordt naar het spuitbeeld van de spleetdop vergeleken met de kegeldop zien we grote verschillen. De spleetdop is ontworpen voor een verticale bespuiting waarbij een gelijkmatige verdeling over de bodem van belang is. Door de spuitdoppen met 50% overlap op de spuitboom te monteren is de afgifteverdeling over de gehele breedte gelijk. De kegelspuitdop geeft een minder gelijkmatige verdeling dan de spleetdop wanneer deze bij een neerwaartse bespuiting ingezet wordt. Wel zorgt dit type spuitdop er bij een fruitteeltspuit voor dat het middel beter de boom binnendringt (Ryszard Hołownicki; Grzegorz Doruchowski; Waldemar Swiechowski; Paweł Konopacki; Artur Godyń, 2021).

Een spuitmachine welke in de fruitteelt ingezet wordt werkt in een horizontale richting, waardoor luchtondersteuning benodigd is om het middel in beweging te zetten. Doordat de fruitteeltspuit met luchtondersteuning uitgevoerd is komt het spuitmiddel tot diep in de boom terecht. Naast het type spuitdop wat toegepast wordt is de luchtondersteuning op de spuitmachine van invloed op het spuitbeeld. Nadat het spuitmiddel de spuitdop verlaat wordt het middel meegenomen met de luchtstroom van de luchtondersteuning. Door de kinetische energie krijgt de luchtstroom uit de ventilator een wervelende vorm waardoor het spuitmiddel in een breed patroon op de boom terecht komt. Dit effect is te zien in de luchtstroom-simulatie van een ventilator in figuur 10.

Figuur 10

Luchtwerveling simulatie van een ventilator welke toegepast wordt bij luchtondersteuning op een spuitmachine.



Opmerking. Overgenomen uit *A Ffowcs Williams–Hawkins Solver for Lattice-Boltzmann based Computational Aeroacoustics*, door (Guillaume Brès, Franck Perot, David Freed, 2015), (<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2010-3711>), arc.aiaa.org.

Doordat de spuitdop in combinatie met luchtondersteuning in horizontale richting werkt zijn de verschillen tussen spleet- en kegeldoppen in de praktijk onbekend. Zowel voor de nauwkeurigheid als voor de bedekking van het spuitmiddel tijdens een boom-specifieke bespuiting is het type spuitdop van belang voor de fruitteler.

1.7 VRAAGSTUK IN HET ONDERZOEK

Boom-specifieke bespuitingen is onderdeel van Smart Farming wat in de fruitteeltsector ook wel precisiefruitteelt genoemd wordt. Jarenlang ontwikkeling heeft ertoe geleid dat we in staat zijn om door middel van een dronevlucht een perceel in kaart te brengen en daarmee op boom-niveau plaats specifieke handelingen uit te voeren. Echter zijn veel van deze technieken afkomstig uit de akkerbouw waardoor er voor de fruitteeltsector nog vele vraagstukken openliggen op het gebied van precisie bespuitingen. De vraagstukken welke in de fruitteeltsector spelen op gebied van precisie bespuiting worden in dit onderzoek beantwoord aan de hand van een centrale hoofdvraag. De hoofdvraag in het onderzoek is als volgt.

Hoofdvraag: Wat is de mate van nauwkeurigheid van boom-specifieke spuittechnieken in de Nederlandse hard-fruiteeltsector?

Het doel van de hoofdvraag in het onderzoek is dat boom-specifieke bespuitingen in de fruitteeltsector dichterbij de praktijk gebracht wordt. Precisie spuittechnologie staat aan het begin van de introductie van Smart Farming binnen de fruitteeltsector. Wanneer de fruitteeltsector bekend is met plaats-specifieke bewerkingen in het veld kunnen precisie-technieken verder ontwikkeld worden waarna Smart Farming op een hoger niveau toegepast kan worden.

Om de vraagstukken uit het onderzoek te kunnen beantwoorden is de hoofdvraag opgesplitst in een tweetal deelvragen. De deelvragen luiden als volgt:

Deelvraag 1: In hoeverre is een boom-specifieke bespuiting in de praktijk realiseerbaar met de externe factoren welke van invloed zijn op het spuitbeeld?

Het doel van deze deelvraag is om de huidige precisie van een boom-specifieke bespuiting in de praktijk vast te stellen. Externe factoren welke in de praktijk plaats vinden tijdens bespuitingen kunnen ervoor zorgen dat het

gewenste resultaat belemmerd wordt. Door de techniek in de praktijk te onderzoeken, kunnen ontwikkelaars en telers ervoor zorgen dat de technologie op een hoger niveau gebracht wordt.

Deelvraag 2: Wat is het significante verschil tussen gebruik van speeddopen of kegeldoppen tijdens een boom-specifieke bespuiting?

Eén van de redenen waarom boom-specifieke bespuitingen in de fruitteeltsector onbekend terrein is, is door het gebruik van andere typen spuitdoppen dan gebruikelijk. Het doel van deze deelvraag is om aan te tonen wat het werkelijke verschil is tussen gebruik van beide typen spuitdoppen in de praktijk.

HOOFDSTUK 2: MATERIAAL EN METHODE

Nadat de onderzoeksvragen vastgesteld zijn wordt in dit hoofdstuk de methode beschreven waarna het antwoord op de onderzoeksvragen gegeven kan worden. Nadat het soort onderzoek en de locatie vastgesteld is, wordt de proef beschreven waarna de meetmethode van de resultaten is uitgelicht.

2.1 SOORT ONDERZOEK

Om de hoofdvragen uit het onderzoek te kunnen beantwoorden werd er een **experimenteel onderzoek** uitgevoerd. Een experimenteel onderzoek houdt in dat een bepaalde variabele wordt gemanipuleerd zodat het effect hiervan vergeleken kan worden met een nulmeting. Het voordeel van een experimenteel onderzoek is dat het in de praktijk plaats kan vinden met bestaande machines en een bestaande proeflocatie. Door het onderzoek in de praktijk plaats te laten vinden, werd de nauwkeurigheid vastgesteld zoals deze bij de fruitteler van toepassing is (Carrie Williams, 2007).

2.2 ONDERZOEKSLOCATIE

Om het experimentele onderzoek in de praktijk uit te kunnen voeren, werd een bestaand fruitteeltbedrijf als onderzoek locatie vastgesteld. Belangrijk voor de locatie was dat het een perceel met appelbomen betreft zodat de variatie in bloesemdichtheid goed vast te stellen is. Appelbomen reageren namelijk extremer op het aantal vruchten van het afgelopen jaar dan perenbomen. Ook was het van belang dat het een volgroeid perceel betreft omdat dit de situatie is welke het meest voorkomt en van belang is voor het spuitbeeld.

De locatie welke voor het onderzoek gebruikt werd, bevindt zich op het perceel van fruitteeltbedrijf De Jong in Varik. Het proefperceel bevindt zich aan de Waalbandijk in Varik, wat tegen de buitendijk van de rivier de Waal ligt. De grondsoort op het perceel bestaat dan ook uit rivierklei met een verhouding van 10% lichte zavel en 82% zware zavel wat te zien is in figuur 1 in bijlage B.

Het perceel waar het onderzoek uitgevoerd werd betreft een perceel met vijf jaar oude Elstar appelbomen, op een areaal van twee hectare. De aanplant bestaat uit een rijafstand van drie meter en een plantafstand van 92 centimeter. De boomhoogte is ongeveer 3 meter en het perceel is altijd handmatig gesnoeid op basis van een traditionele 'piramide' vorm. Het perceel is op basis van GPS op twee centimeter nauwkeurig geplant waardoor de bomen op het perceel in alle richtingen in een rechte lijn staan. De perceelindeling van het proefperceel is te vinden in figuur 2 bijlage B. Voor de boom-specifieke bespuiting was dit zeer gunstig omdat de boomvlakken precies overeenkwamen met de taakkaart.

2.3 PROEFOPZET

Nadat de locatie van het onderzoek werd vastgesteld, is de proefopzet op basis van de deelvragen opgebouwd. Om de nauwkeurigheid van de boom-specifieke bespuiting te kunnen valideren werd het proefperceel door middel van een fictieve taakkaart ingericht. Eerst werd het perceel door middel van een meetstok op GPS-basis ingemeten, zodat alle bomen en rijen precies in kaart stonden. Zodra alle boomvlakken ingetekend waren kon er een taakkaart gemaakt worden waarmee een gecontroleerde bespuiting aangestuurd kon worden. De bespuiting bestond uit wel of niet spuiten en werd per boomvlak aangestuurd. Tijdens de proef werd schoon leidingwater gespoten wat geen gevolgen had voor het gewas.

De proef werd uitgevoerd in het zogenaamde kale-boom stadium waarin er geen blad of bloesem in de boom aanwezig was. De reden hiervoor was omdat dit stadium het meest overeenkomt met de situatie waarin een chemische vruchtdunning wordt toegepast in een boomgaard. Ook werd er in dit stadium zo weinig mogelijk schade aan het perceel aangebracht, doordat het natsproeien van bloesem of blad tot schimmelinfecties kan leiden. Schade aanbrengen in het werkveld van de fruitteler werd tijdens de proef ten alle tijden voorkomen.

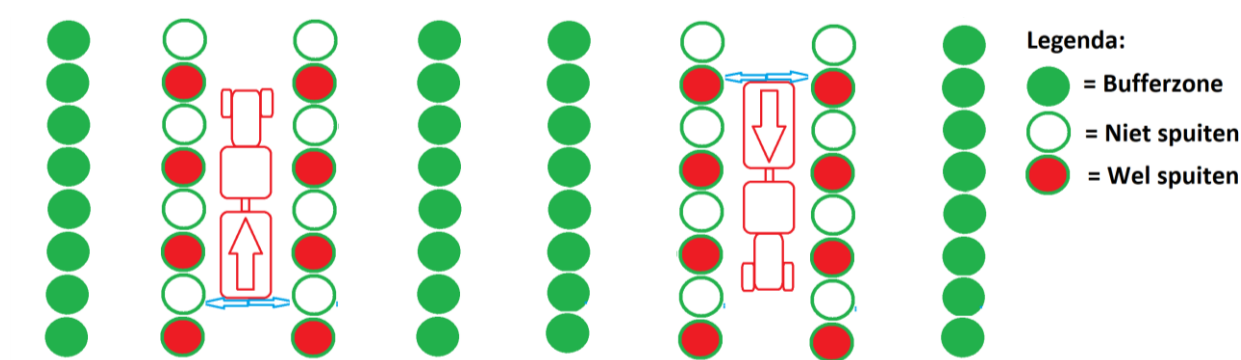
Om de invloed van de windrichting tijdens de meting vast te leggen, werd elke proef in twee rijrichtingen uitgevoerd. Door de twee metingen bij elkaar op te tellen en de delen, werd een nulmeting gecreëerd waarbij de windrichting

uitgesloten werd. Omdat alle fruitbomen in dezelfde richting geplant staan kon de proef slechts in twee rijrichtingen uitgevoerd worden. Zoals op de hoogtekaart in figuur 3 van bijlage B te zien is, ligt het perceel op een beschutte plaats achter een hoge dijk, waardoor de windsterkte op het perceel werd afgeremd tijdens een zuid/ zuidwesten windrichting. De rijlengte op het perceel bedraagt ongeveer 140 meter met circa 150 bomen op een rij. Tijdens een proef van vier rijen werden er ongeveer 600 fruitbomen gespoten.

In figuur 11 en 12 is schematisch het proefveld weergegeven waarin bomen wel of niet gespoten werden. Ook is te zien dat er in twee rijrichtingen gereden werd. Omdat een plantafstand van 92 centimeter in de fruitteelt gezien wordt als een korte plantafstand, werd de taakkaart voorbereid voor een tweede scenario. Indien er tijdens het instellen van de spuitmachine geconstateerd werd dat de plantafstand te klein is voor een boom-specifieke bespuiting, werden er twee bomen achter elkaar bespoten. Op deze manier werd de plantafstand gemanipuleerd tot een grotere afstand.

Figuur 11

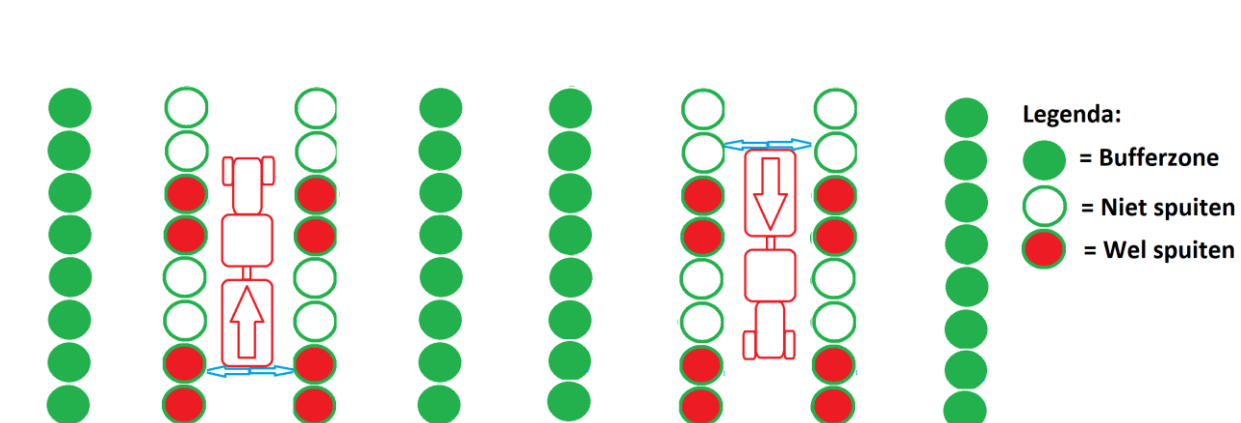
Proefopzet 1: boom-specifiek spuiten met boomaafstand 92 centimeter.



Doordat de plantafstand op het perceel 92 centimeter bedraagt, werd het boomvlak vergroot tot 184 centimeter wanneer er twee bomen achter elkaar gespoten werden. Hierdoor was de schakeltijd voor de spuitmachine twee keer zo groot zoals in figuur 12 te zien is. Wanneer tijdens de proef zou blijken dat een plantafstand van 92 centimeter haalbaar was, werd proefopzet 2 verworpen.

Figuur 12

Proefopzet 2: boom-specifiek spuiten met boomaafstand 184 centimeter.



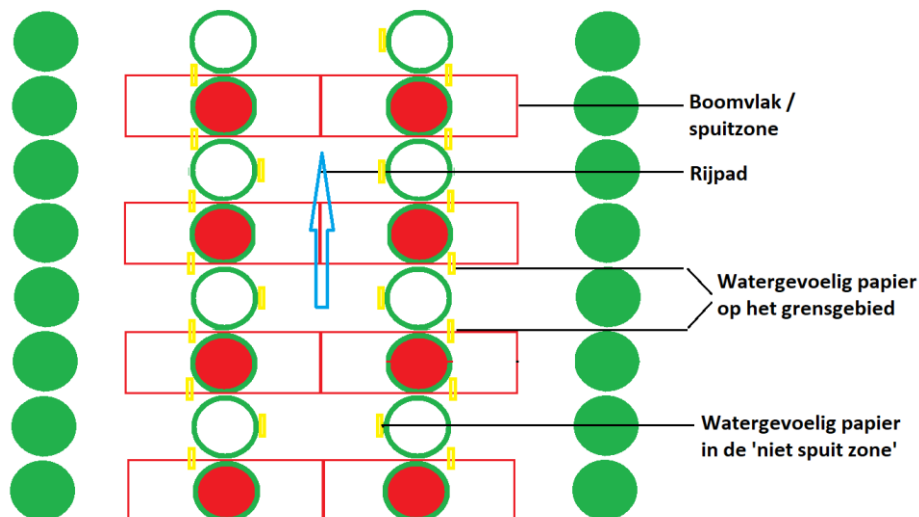
Deelvraag 1:

De nauwkeurigheid van de bespuiting, zoals in deelvraag 1 beschreven staat, werd gemeten door een systematische proef op te zetten waarin de nauwkeurigheid van de bespuiting vastgesteld werd. De meting werd uitgevoerd door middel van een steekproef met watergevoelig papier, welke in het proefveld geplaatst werd. Het watergevoelig papier was in de basis geel van kleur en verkleurde blauw wanneer een druppel water vanaf de spuitmachine op het papier terecht kwam. Doordat deze verkleuring permanent op het papier zichtbaar bleef, kon de bedekking op het papier op een later tijdstip uitgelezen worden (Kosuke Nishida; Motoyuki Ishii; Shohji Tsushima; Shuichiro Hirai, 2011).

Het doel van de proef was om aan te tonen hoe nauwkeurig de boom-specifieke spuitmachine kan schakelen tussen een boom welke wel -en niet bespoten moest worden. Om deze schakeltijd in kaart te brengen moest het watergevoelig papier op de juiste manier in het veld geplaatst worden. Er werd gekozen om drie papieren per boomvlak op te hangen, op een meter boven de grond. Deze hoogte komt overeen met het 'frame' van de boom wat het breedste gebied van de boom is. De papiertjes werden op deze hoogte opgehangen door middel van een stokje met een wasknijper. Om aan te tonen waar het grensgebied van de bespuiting lag, werden twee papieren op de grens van het boomvlak opgehangen en een papier in het midden van de boom. De papieren op het grensgebied werden aan de achterzijde van de boom gehangen, zodat de schakeltijd van de vloeistof over de gehele boombreedte gemeten werd. Het middelste papier werd aan de voorkant van de boom gehangen waardoor gemeten kon worden hoeveel vloeistof er op een boom terecht kwam welke **niet** bespoten diende te worden. Door een aantal papieren midden op het spuitvlak op te hangen, werd de volledige dosering vastgesteld, waarmee de resultaten vergeleken konden worden. Het watergevoelige papier werd genummerd zodat de resultaten gekoppeld konden worden aan de positie in het veld. De schematische posities van het watergevoelige papier zijn te zien in figuur 13.

Figuur 13

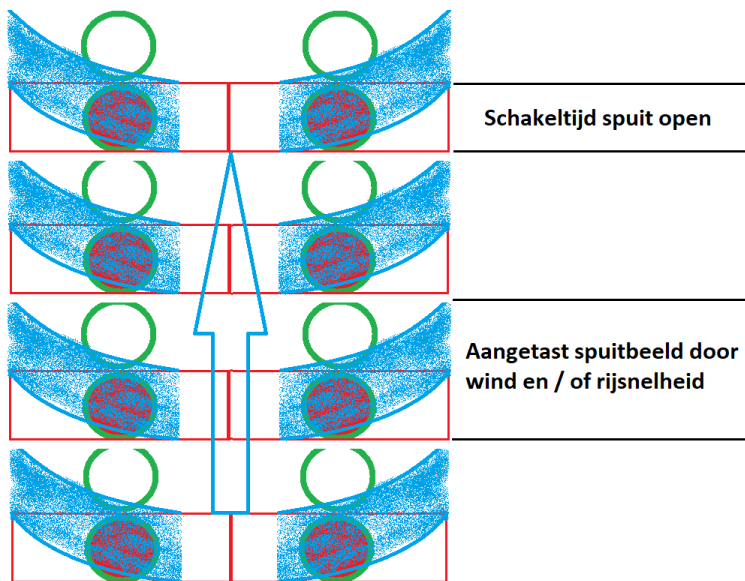
Posities watergevoelig papier tijdens boom-specifieke spuitproef.



De verwachting van de proef was dat het spuitbeeld door de rijsnelheid en de richting van de wind werd beïnvloed, waardoor het spuitbeeld een kromming kreeg zoals in figuur 14 schematisch weergegeven is. Doordat het watergevoelig papier precies op de grens van het spuitvlak geplaatst werd, is de verwachting dat dit terug te vinden is in de meetresultaten.

Figuur 14

Aangetast spuitbeeld door wind en/ of rijsnelheid tijdens boom-specifieke spuitproef.



Deelvraag 2:

In het tweede onderdeel van het onderzoek werd aangetoond wat de invloed van het type spuitdop op de nauwkeurigheid van de boom-specifieke bespuiting was, zoals in deelvraag twee beschreven staat. In het onderzoek werd de spleetdop vergeleken met de kegeldop. De proefopstelling van deelvraag 1 werd uitgevoerd met een spuitmachine waarvan een zijde was uitgerust met spleetdoppen en de andere zijde met kegeldoppen. Doordat de gehele proef uitgevoerd werd met de twee typen spuitdoppen waren de omstandigheden precies gelijk. Belangrijk voor de dopkeuze was dat deze beide dezelfde afgifte in liters per hectare hadden. Tijdens de proef werden de volgende typen spuitdoppen met elkaar vergeleken:

- Spleetdoppen; Lecher IDK 90 0067, kleur groen, 90% drift reducerend
- Kegeldoppen; Albuz TVI 80 015, kleur groen, 90% drift reducerend

Proefperceel samengevat:

- Rivierklei met 10% lichte zavel en 82% zware zavel.
- Vijf jaar oude Elstar appelbomen, traditioneel gesnoeid.
- Plantafstand 92 centimeter, rijafstand drie meter.
- Boomhoogte drie meter.
- Bomen door middel van gps geplant.
- Boomstadium zonder blad en zonder bloesem.

Meetmethode samengevat:

- Twee typen spuitdoppen op de spuitmachine gemonteerd (links kegeldoppen, rechts spleetdoppen).
- Streekproefmeting door middel van watergevoelig papier.
- Drie metingen per steekproef, op een meter hoogte boven de grond.
- Twee rijrichtingen per proef.
- Acht steekproeven per rijrichting, per proef.

2.4 MEETPROTOCOL EN BETROUWBAARHEID

Om ervoor te zorgen dat de proeven betrouwbare resultaten opleverden, werden de beïnvloedbare variabelen vooraf vastgesteld. De variabelen welke tijdens het onderzoek ingesteld konden worden, waren de rijnsnelheid, het toerental op de aftakas, de spuitdruk en de afgifte per hectare. De spuitcombinatie welke tijdens het onderzoek gebruikt werd, bestond uit een Fendt 211 v Vario met daarachter een Lochmann NL dwarsstroomspruit met Air Closing System. Dit systeem zorgt er door middel van luchtkleppen voor, dat tegen de wind in meer luchtondersteuning gegeven wordt dan met de wind mee. Hierdoor is de spuitmachine, in combinatie met drift reducerende spuitdoppen, erkend tot 99% driftreductie. Deze erkenning is te zien in bijlage C. De trekker was uitgevoerd met een Raven RTK GPS-uitrusting en de spuitmachine was uitgerust met een Raven Hawkeye 2 PWM aansturing. De spuitcombinatie welke tijdens de proef ingezet werd is te zien in figuur 15.

Figuur 15

Spruitcombinatie welke ingezet werd tijdens het onderzoek naar precisiespuiten.



Om ervoor te zorgen dat de spuitmachine tijdens het onderzoek aan de 99% driftreductie voldeed, diende er aan de randvoorwaarden te worden voldaan zoals beschreven in het informatieblad van de spuitmachine. Het informatieblad is weergegeven in bijlage D. In het informatieblad van de spuitmachine staan de volgende randvoorwaarden beschreven welke tijdens de proef nageleefd werden:

- De spuitdoppen hebben een minimale driftreductie van 90%.
- De spuitdruk is niet hoger dan in de DRD lijst van de spuitdoppen aangegeven.
- De ventilator van de spuitmachine dient in stand 1 te staan. Dit betreft een overbrengingsverhouding van 1:2,47
- Het toerental op de aftakas van de spuitmachine is maximaal 300 rpm.
- De rijnsnelheid is maximaal acht kilometer per uur.

Naast de instellingen van de spuitmachine vanuit de driftreductie erkenning, werd het meetprotocol aangehouden welke van toepassing is bij een vergelijkbaar onderzoek. Dit protocol is afkomstig uit "Meetprotocol voor het vaststellen van de driftreductie van spuitdoppen voor neerwaartse en op- en zijwaartse bespuiting." door "Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat" in afstemming met Bestuurlijk Overleg Open Teelt (Rijkswaterstaat, 2021).

In het protocol staan de volgende randvoorwaarden beschreven welke van toepassing zijn op het onderzoek naar de nauwkeurigheid van een boom-specifieke bespuiting:

- De spuitdruk is 7 bar.
- Het meetvlak bevindt zich minimaal 50 centimeter boven de grond.
- Er worden minimaal acht herhalingen uitgevoerd om te voldoen aan de onbetrouwbaarheidseis van maximaal 5%.
- De tank is schoongespoeld en de proef wordt uitgevoerd met schoon leidingwater.

Aan de hand van de proefopzet en het meetprotocol werden er in het onderzoek in totaal 96 metingen uitgevoerd door middel van watergevoelig papier, zoals de onderstaande berekening laat zien.

3 metingen per boomvlak X 2 rijrichtingen X 2 typen spuitdoppen X 8 herhalingen = 96 metingen

De betrouwbaarheid werd berekend aan de hand van de foutmarge formule zoals onderstaand weergegeven:

$$\text{Foutmarge} = z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

n = steekproefgrootte, σ = standaardafwijking van de populatie, z = z-score

- De omvang van de populatie was het aantal bomen in het proefveld, wat circa 600 bomen bedroeg.
- Het betrouwbaarheidsniveau voor een maximale onbetrouwbaarheidseis van 5% bedraagt 95%, met de daar bijhorende z-score van 1,96. Dit getal is terug te vinden in de tabel van bijlage E.
- De grootte van de steekproef bedroeg 96 metingen op basis van watergevoelig papier in het proefveld.

De foutmarge van het onderzoek bedroeg op basis van de formule 9%. Dit betekent dat met 95% zekerheid aangetoond kon worden dat de spuit met een foutmarge van 9% een correcte bespuiting heeft uitgevoerd (Tomaž Kosar; Sudev Bohra; Marjan Mernik, 2018).

2.5 VERZAMELEN VAN GEGEVENS

Zodra de gewenste bespuiting uitgevoerd was, werden de gegevens in het veld verzameld. In het proefveld werden in totaal 96 watergevoelige papieren opgehangen waarop de resultaten van de proef zichtbaar waren. Het watergevoelige papier was in de basis geel en zodra een druppel water op het papier terecht kwam werd het gebied ter grootte van de druppel blauw. Op deze manier kwam er een patroon met druppels op de papieren terecht welke uitgelezen konden worden zodra de papieren droog waren. Om ervoor te zorgen dat de resultaten niet werden aangetast na de bespuiting werden deze met handschoenen verzameld en in een schoon notitieblok bewaard. Om ervoor te zorgen dat de papieren niet door elkaar gehaald werden, werden deze van tevoren genummerd. De nummering van de papieren was als volgt opgebouwd:

- De proef met een kegeldop kreeg de beginletter K.
- De proef met een spleetdop kreeg de beginletter S.
- De rijrichting kreeg het nummer N voor noord en Z voor zuid.
- De positie werd vastgelegd met de letters A, B of C. Daarvan was positie A het midden van de boom, B het grensgebied aan de zuidkant en C het grensgebied aan de noordkant.
- Het volgnummer was het nummer van de herhaling, met nummer 1 tot en met 8.

Voorbeeldnummer: K-N-B-6

Door de nummering van de papieren konden de resultaten gemakkelijk verwerkt en vergeleken worden.

2.6 OMSTANDIGHEDEN IN HET VELD

Naast het verzamelen van de meetgegevens werden tijdens de proef ook de omstandigheden in het veld gemeten. De metingen welke bijgehouden werden, bestonden uit de buitentemperatuur (in °C), de luchtvochtigheid (in RV %), de windsnelheid (in m/s) en de windrichting. Voor deze metingen werd het weerstation van de KNMI in de plaats Herwijnen als bron gebruikt. Dit weerstation bevindt zich hemelsbreed op tien kilometer vanaf het proefveld en is het dichtbij zijnde weerstation van de KNMI. Doordat het weerstation zich aan dezelfde kant van de Waal bevindt zijn de omstandigheden nagenoeg gelijk aan het proefperceel. Doordat het weerstation elke tien minuten een meting uitbrengt, waren de metingen tijdens de proef actueel (KNMI, 2022).

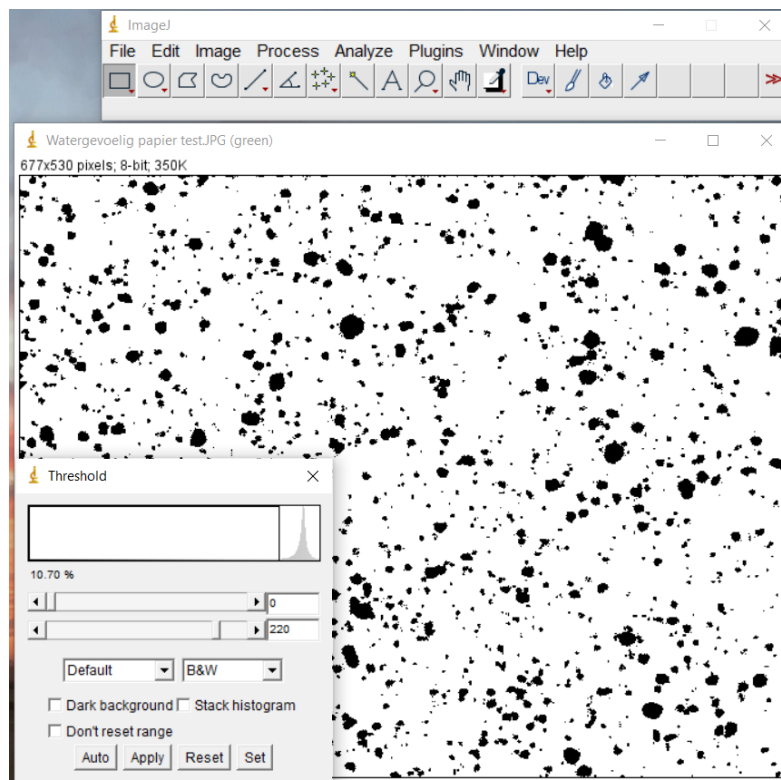
2.7 UITWERKEN VAN RESULTATEN

Nadat de papieren verzameld waren, werden deze gescand en ingeladen in het softwareprogramma genaamd ImageJ. Deze software werd toegepast omdat deze het beste uit de test kwam door de spuit specialist Jason Deveau (Jason Deveau, 2021). Dit heeft ermee te maken dat deze software het mogelijk maakt om de achtergrond van het watergevoelig papier weg te filteren, waardoor alleen de druppels van de proef zichtbaar werden.

In de software werd het gescande watergevoelige papier omgezet tot een binaire afbeelding, waarin alle ruis en kleuren uitgefilterd werden. De software bezit een rekentool welke automatisch het percentage van de bedekking kon berekenen, zoals in de test in figuur 16 te zien is. Belangrijk tijdens het uitwerken van de resultaten was dat elk papier op dezelfde methode en met dezelfde instellingen werd uitgelezen.

Figuur 16

Test simulatie waarin de bedekking van watergevoelig papier na een bespuiting gemeten wordt.



Van alle watergevoelige papieren werd een scan gemaakt waarvan de resultaten in een Excel document geplaatst werden. Door de resultaten in een grafiek te laden kon de correlatie geëvalueerd worden waarna een conclusie getrokken kon worden op de vooraf gestelde onderzoeksvraag. De onderzoeksvraag luidde: "Wat is de mate van nauwkeurigheid van boom-specifieke spuittechnieken in de Nederlandse hard-fruitteeltsector?"

HOOFDSTUK 3: RESULTATEN UIT HET ONDERZOEK

Nadat de onderzoeksvraag is opgesteld en de onderzoeksmethode beschreven is, zijn in dit hoofdstuk de resultaten van het onderzoek beschreven. Voordat de resultaten uit het onderzoek worden beschreven, zijn de omstandigheden tijdens de proefbespuiting vastgelegd. Daarnaast zijn er verschillende nulmetingen uitgewerkt welke ter vergelijking gebruikt worden in de analyse.

3.1 OMSTANDIGHEDEN TIJDENS DE PROEF

Om ervoor te zorgen dat het onderzoek reproduceerbaar is, zijn de omstandigheden tijdens de proef vastgelegd. Omdat de precisie van de proefbespuiting wordt beïnvloed door wind, is het belangrijk dat de weersomstandigheden gunstig zijn. KNMI heeft openbare weerstations door heel Nederland geplaatst, welke om de tien minuten nieuwe metingen publiceren. De meting is aan het begin van de proef vastgelegd en is weergegeven in Tabel 1. In de meting is te zien dat er een zwakke wind aanwezig was op het moment van de bespuiting en dat de windrichting vanaf het Noordoosten kwam. Omdat er aan de Noordzijde van het perceel geen windscherm aanwezig was, komt deze meting overeen met het proefveld.

Tabel 1

Weersomstandigheden tijdens de spuitproef.

KNMI weerstation

Plaats	Herwijnen		
Datum	Woensdag 30 Maart		
Tijd	15:30		
Temperatuur	11.4 Graden Celsius		
Luchtvochtigheid	57 procent		
Wind	2 bft	Zwak	1,6 - 3,3 m/s
Windrichting	24 graden		NO

Naast de weersomstandigheden tijdens de spuitproef is de bladtoestand in de boomgaard van invloed op de precisie van de bespuiting. Veel blad aan de boom zorgt ervoor dat er veel wind en drift van spuitmiddel wordt tegengehouden. Echter wordt een boom-specifieke vruchtdunning uitgevoerd tijdens de bloeiperiode, waarin nog maar weinig blad aan de boom aanwezig is. De proefbespuiting werd op 30 Maart uitgevoerd, wat een aantal weken voor de bloeiperiode is. Het boom-stadium tijdens de proef is te zien in figuur 17. Goed te zien is dat er nog geen volle bladbedekking in de boom aanwezig is en dat de knoppen nog niet ontwikkeld zijn tot een bloem. Ook is te zien dat er tot meer dan tien boomrijen vrij zicht is, wat betekent dat wind en spuitmiddel gemakkelijk kan overwaaien.

Daarnaast is in figuur 17 te zien hoe het watergevoelig papier in het proefperceel geplaatst is door middel van een stokje en een wasknijper. Door deze montage te gebruiken wordt bij elke meting het watergevoelig papier op dezelfde methode gepositioneerd wat de betrouwbaarheid van de meting verhoogd.

Figuur 17

Bladtoestand van het proefperceel tijdens de spuitproef.



3.2 OPNAMEVERGELIJKING NAT EN DROOG

Nadat de omstandigheden in het proefperceel zijn vastgelegd, werd de opname van het spuitmiddel op het watergevoelig papier vastgelegd en vergeleken. Omdat tijdens het onderzoek werd gekeken naar het percentage bedekking op het watergevoelig papier, is het belangrijk dat de werkelijke druppelgrootte werd aangetoond. In figuur 18 is de vergelijking te zien tussen het watergevoelig papier direct na het spuiten, nadat het papier is opgedroogd en nadat het papier is gescand in de software. Omdat de waterdruppels op het speciale papier niet werden uitgevloeid, werd er geen schaalverandering toegepast tijdens het meten van de resultaten.

Figuur 18 Opnamevergelijking van watergevoelig papier tijdens de proefbespuiting, na het opdrogen van het papier en tijdens het meten van de resultaten in de computer (van links naar rechts).

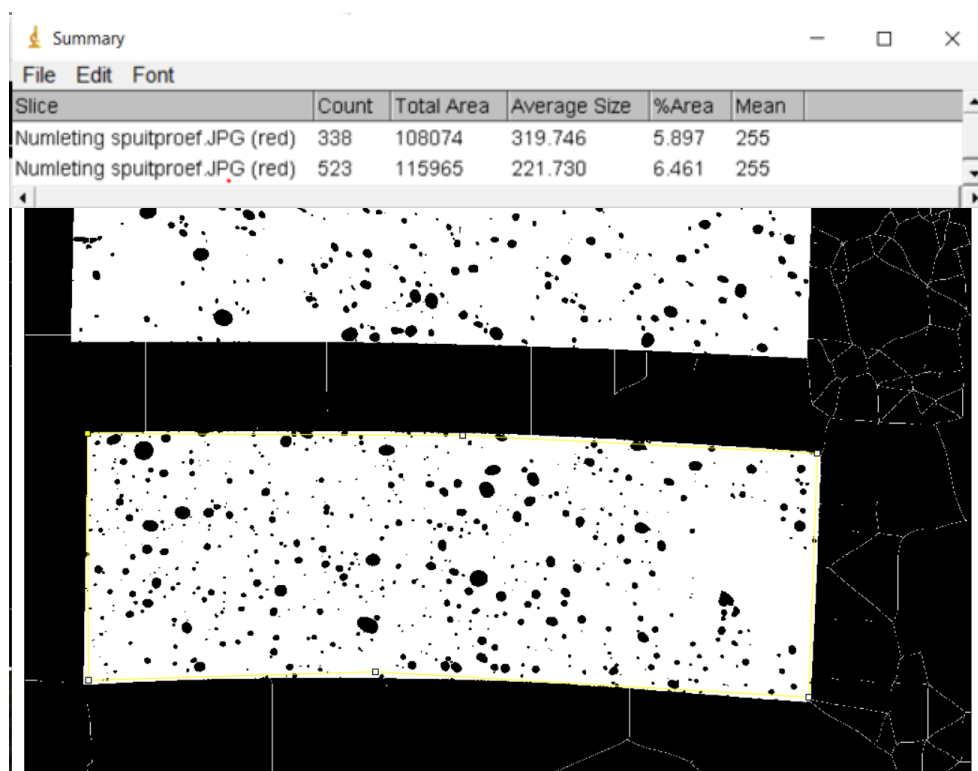


3.3 NULMETING RIJSNELHEID

Nadat de opname van het spuitmiddel op het watergevoelig papier is vastgesteld, werd vooraf de proefbespuiting een vergelijking uitgevoerd waarin de rijsnelheid bepaald werd. De vergelijking werd vastgesteld door twee watergevoelige papieren op dezelfde plaats in het proefveld op te hangen. Bij de eerste meting werd een rijsnelheid van 7 km/h aangehouden en bij de tweede meting werd een rijsnelheid van 5 km/h aangehouden. Beide metingen werden op het midden van een boom uitgevoerd welke volledig bespoten werd met de Albuz TVI 80 Hollekegeldop uit figuur 9. In figuur 19 is de vergelijking te zien tussen de twee rijsnelheden met de daar bijhorende meetgegevens, welke bovenin figuur 19 te zien zijn. Bij de vergelijking werd gekeken naar het aantal druppels (Count), de totale bedekking (Total area), de gemiddelde druppelgrootte (Average size) en de procentuele bedekking (% Area).

Figuur 19

Nulmeting voor het bepalen van de juiste rijsnelheid tijdens de spuitproef aan de hand van watergevoelig papier. Boven is bij 7 km/h en onder is bij 5 km/h.



Na visueel onderzoek tijdens de proef werd geconstateerd dat beide rijsnelheden een correct spuitbeeld opleverden. Er is besloten om met een rijsnelheid van 7 km/h de proef uit te voeren omdat deze rijsnelheid het beste overeenkomt met de praktijk en binnen de maximale snelheid van 8 km/h valt. Na analyse van de resultaten bij verschillende rijsnelheden is gebleken dat een rijsnelheid van 5 km/h een hogere bedekking oplevert dan een rijsnelheid van 7 km/h. Echter is het verschil slechts 0,5 procent waardoor de overweging voor een lage rijsnelheid niet genomen is.

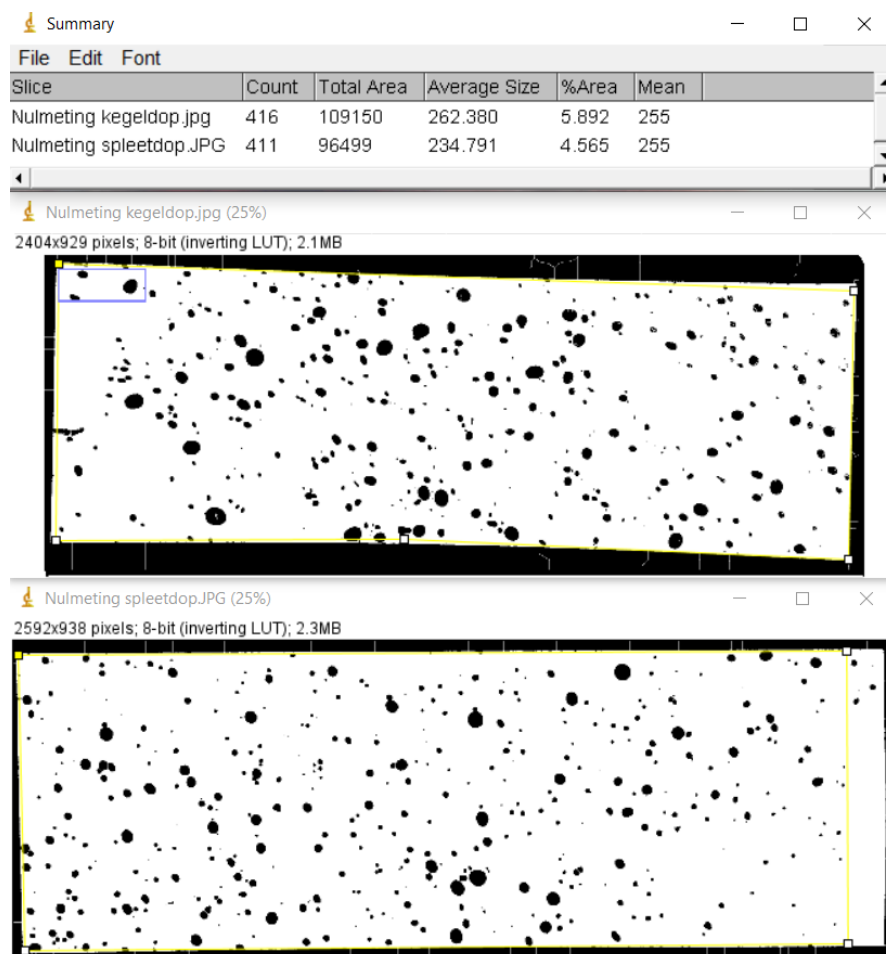
Ook is tijdens deze proef geconstateerd dat een boomaafstand van 92 centimeter haalbaar was voor een boom specifieke bespuiting. Door de afgifte van de spuitmachine te vergelijken met het proefveld, welke door middel van lintjes was uitgezet, werd vastgesteld dat de spuitmachine snel genoeg kon schakelen bij een rijsnelheid van 7 km/h en een boomaafstand van 92 centimeter.

3.4 NULMETING VOLLEDIGE DOSERING

Nadat de juiste rijsnelheid en de boomaafstand van de spuitproef was vastgesteld, werd er een nulmeting uitgevoerd waarin de bedekking tijdens een volledige bespuiting werd gemeten. Deze meting werd tijdens het onderzoek gebruikt ter vergelijking tussen een boom welke wel- en niet bespoten dient te worden. Omdat de proef werd uitgevoerd met twee verschillende typen spuitoppen werd er een nulmeting uitgevoerd bij beide spuitdoppen. De meting is te zien in figuur 20 waarin dezelfde meetwaarden werden vergeleken als bij de nulmeting van de rijsnelheid in figuur 19.

Figuur 20

Nulmeting van de volledige dosering tijdens de spuitproef bij gebruik van kegeldoppen (boven) en spleetdoppen (onder) bij 7 km/h.



Nadat de nulmeting was uitgevoerd, werd de taakkaart ingeladen waarmee de spuitmachine werd aangestuurd op basis van gps-coördinaten. De taakkaart is te zien in bijlage B, figuur 4. Het proefperceel was uitgezet door middel van gekleurde lintjes zodat het proefveld vanuit de trekker gemakkelijk te vinden was. Het watergevoelig papier werd kort voor de bespuiting opgehangen, op de juiste locaties in het proefveld. De machine instellingen tijdens de proef zijn onderstaand opgesomd.

De spuitmachine was tijdens de proef uitgevoerd met de volgende typen spuitdoppen:

- Kegeldoppen: Albuz TVI 80
- Spleetdoppen: Lechler IDK 90

De volgende instellingen werden tijdens de proefbespuiting toegepast:

- Rijsnelheid; 7 km/h.
- Spuitvloeistof; schoon leidingwater.
- Vloeistofafgifte; 200 liter per hectare.
- Aftakas toerental; 300 rpm.
- Ventilator spuitmachine; stand 1.

3.5 RESULTATEN DEELVRAAG 1

In hoeverre is een boom-specifieke bespuiting in de praktijk realiseerbaar met de externe factoren welke van invloed zijn op het spuitbeeld?

Nadat de bespuiting was uitgevoerd, werden de watergevoelige papieren verzameld waarna deze ingescand werden. Door de bedekking van de metingen te vergelijken werd de precisie van de boom-specifieke bespuiting vastgesteld. Per herhaling werden drie metingen uitgevoerd welke gepositioneerd werden zoals in figuur 13 te zien is. Positie A is het midden van de boom welke niet bespoten werd, positie B is de wel bespoten boom aan de zuidzijde en positie C is de bespoten boom aan de noordzijde van positie A.

De gemiddelde resultaten van de meetproef zijn weergegeven in tabel 2. De resultaten zijn opgesplitst in twee rijrichtingen en twee typen spuitdoppen. Ook is het streefgetal weergegeven wat overeenkomt met de volledige dosering en een nul dosering voor de onbespoten boom op positie A. Het volledige resultatenoverzicht van het percentage bedekking per meting is weergegeven in bijlage H, tabel 1.

Tabel 2

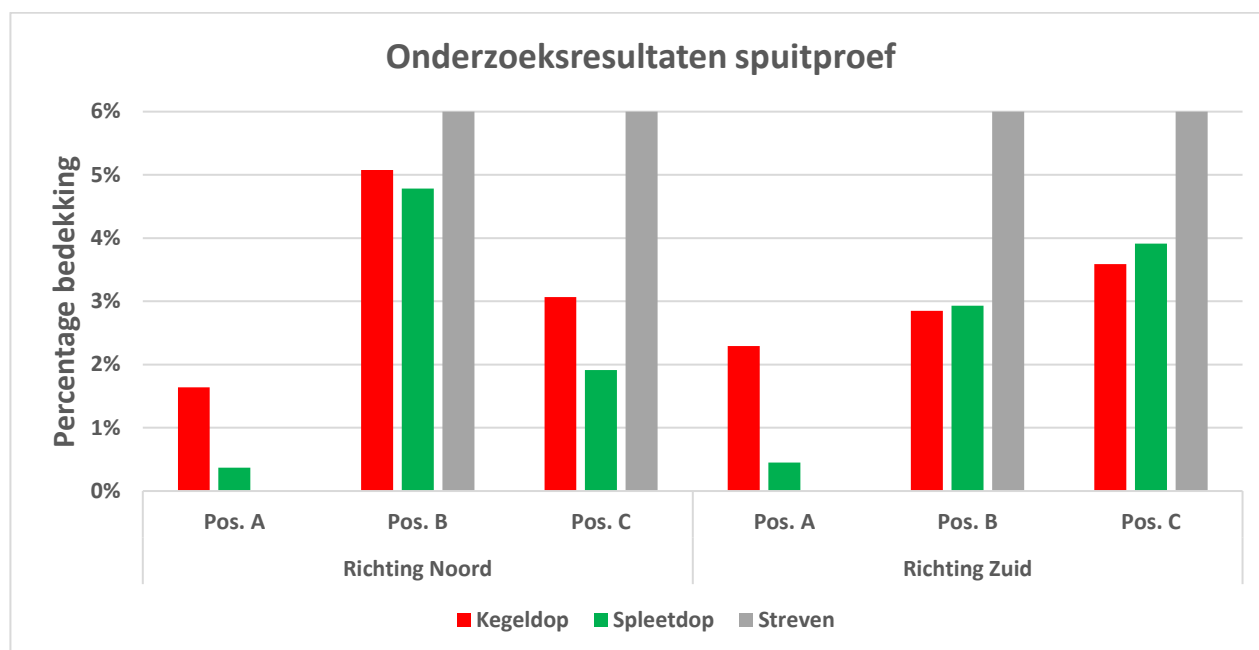
Resultatenoverzicht van het percentage bedekking aan spuitmiddel tijdens de proef naar boom specifiek spuiten.

Oppervlaktebedekking spuitmiddel		Kegeldoppen	Spleetdoppen	Streefgetal
Rijrichting Noord ↑	Positie C	3,07%	1,91%	6%
	Positie A	1,64%	0,37%	0%
	Positie B	5,08%	4,78%	6%
Rijrichting Zuid ↓	Positie C	3,59%	3,91%	6%
	Positie A	2,30%	0,45%	0%
	Positie B	2,85%	2,93%	6%

In de tabel is te zien dat spleetdoppen voor een ruim vier keer lagere dosering op de onbespoten bomen zorgen, in vergelijking met de kegeldoppen. Daarnaast is uit de tabel op te maken dat de boom achter de onbespoten boom een lagere dosering toegediend krijgt dan de boom ervoor. Ook zien we dat de resultaten bij de zuidelijke rijrichting minder van elkaar afwijken dan de resultaten bij de noordelijke rijrichting. In figuur 21 zijn dezelfde resultaten weergegeven in de vorm van een staafdiagram.

Figuur 21

Resultatenoverzicht van de vergelijking tussen het spuitbeeld van spleetdoppen en kegeldoppen tijdens de proefbespuiting.



In figuur 21 is goed te zien dat de kegeldop een hogere bedekking laat zien op bomen welke niet gespoten dienden te worden dan de spleetdop. Verder is de rijrichting bij beide typen spuitdoppen van invloed op de bedekking.

3.6 RESULTATEN DEELVRAAG 2

Wat is het significante verschil tussen gebruik van speeddoppen of kegeldoppen tijdens een boom-specifieke bespuiting?

Naast het percentage bedekking, welke berekend werd bij het meten van de resultaten, konden er meerdere gegevens verzameld worden. Ook het aantal druppels welke op het watergevoelig papier zijn vastgelegd werden geanalyseerd samen met de gemiddelde druppelgrootte. De druppelgrootte werd berekend op basis van het aantal pixels waaruit de ingescande resultaten bestonden. Alleen de druppels welke uit meer dan tien pixels bestaan werden meegenomen in de resultaten. Hierdoor werd de ruis welke op de scan aanwezig was niet meegerekend met het aantal druppels.

De meetgegevens van de kegeldoppen werden vergeleken met de gegevens van de spleetdoppen en zijn te zien in tabel 3. Omdat een herhaling van acht werd aangehouden, is alleen de noordelijke rijrichting geanalyseerd. Het volledige resultatenoverzicht is te vinden in bijlage I, tabel 1.

Tabel 3

Resultaten van de vergelijking tussen het spuitbeeld van spleetdoppen en kegeldoppen tijdens de proefbespuiting.

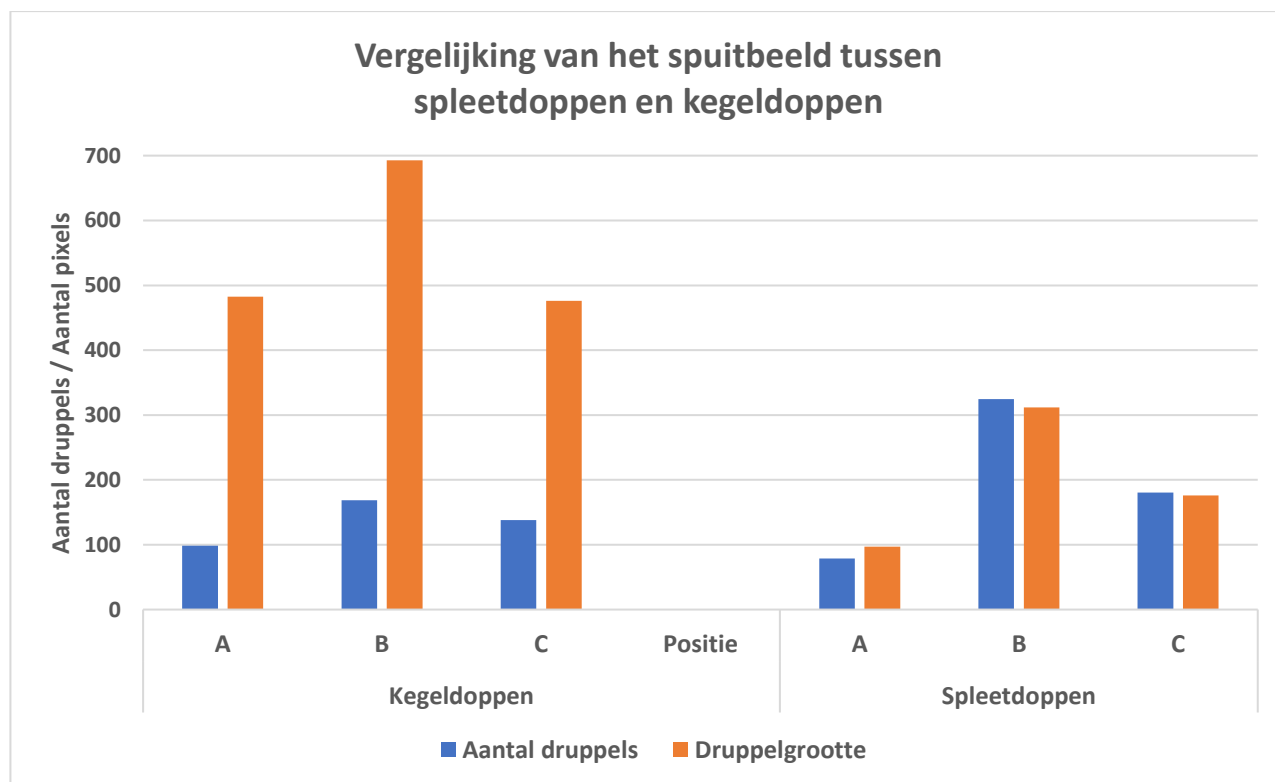
Spuitbeeld vergelijking			Aantal druppels	Druppelgrootte (Aantal pixels)	Bedekking %
 Rijrichting Noord	Kegeldoppen	Positie C	138	476	3,07%
		Positie A	99	482	1.64%
		Positie B	169	693	5,08%
	Spleetdoppen	Positie C	181	176	1,91%
		Positie A	79	97	0,37%
Positie B		324	312	4,78%	

In de tabel is te zien dat de resultaten van de spleetdoppen gemiddeld 70% meer druppels bevatten dan de kegeldoppen. Daarnaast is uit de resultaten te halen dat de gemiddelde druppelgrootte van de kegeldoppen bijna drie keer zo groot is dan de spleetdoppen. Deze getallen geven aan hoe grof de nevel is van beide typen spuitdoppen.

In figuur 22 zijn de resultaten van de vergelijking tussen kegeldoppen en spleetdoppen weergegeven in een staafdiagram.

Figuur 22

Resultaten van de vergelijking tussen het spuitbeeld van spleetdoppen en kegeldoppen tijdens de proefbespuiting.



Goed te zien is dat de kegeldoppen een aanzienlijk grotere druppelgrootte vormen in het spuitbeeld dan de spleetdoppen. Daarnaast is er bij beide typen spuitdoppen een verhouding te zien tussen de druppelgrootte en het aantal druppels wat op het watergevoelig papier is terecht gekomen.

HOOFDSTUK 4: DISCUSSIE OP HET ONDERZOEK

Nadat de resultaten van de spuitproef weergegeven zijn, is in dit hoofdstuk de discussie beschreven. In de discussie zijn de belangrijkste resultaten uit het onderzoek beschreven waarna de discussie per deelvraag is beschreven. Tot slot is er een reflectie op de onderzoeksmethode geformuleerd.

4.1 BELANGRIJKSTE RESULTATEN UIT HET ONDERZOEK

In de resultaten van deelvraag 1 is te zien dat de rijrichting en de wind gevolgen heeft voor de precisie van een boom-specifieke bespuiting. De invloed van de rijnsnelheid op de nauwkeurigheid van het spuitbeeld is af te lezen aan de posities B en C. De meting welke achter de onbespoten boom plaatsvond had in alle gevallen een lagere dosering dan de meting voor de onbespoten boom, zie bijlage H, tabel 1. Gemiddeld kwam 52% van het spuitmiddel op het gebied **voor** de onbespoten boom terecht, 15% van het middel kwam **op** de onbespoten boom en 33% van het middel kwam op het gebied **na** de onbespoten terecht. Dit resultaat komt overeen met de verwachting uit §2.3 figuur 14, waarin het spuitbeeld wordt aangetast door de rijrichting en wind.

Door beide rijrichtingen met elkaar te vergelijken is te zien dat de wind (in dit geval een noordoostenwind) ook van invloed is op het spuitbeeld. Dit is in de resultaten terug te vinden doordat beide rijrichtingen geen gespiegeld resultaat aantonen. In zuidelijke rijrichting zitten de resultaten tussen positie B en C dicht bij elkaar dan de resultaten in de noordelijke rijrichting, zie figuur 21. Ook dit resultaat komt overeen met de verwachting van §2.3 figuur 14.

Uit de resultaten van deelvraag 2 is gebleken dat de spleetdoppen een nauwkeuriger spuitbeeld tonen tijdens een boom-specifieke bespuiting dan de kegeldoppen. Dit is af te lezen aan het percentage bedekking op de bomen welke niet gespoten werden, positie A. Bij de kegeldoppen werden de onbespoten bomen aanzienlijk meer geraakt dan dat bij de spleetdoppen het geval was, zie bijlage H, tabel 1, kolom 'Positie A'. Bij gebruik van spleetdoppen komt er gemiddeld 12% van het spuitmiddel op de onbespoten boom terecht. Bij gebruik van kegeldoppen is dit gemiddeld 54%, wat ruim vier keer zoveel is.

Ook is uit de resultaten te halen dat de spleetdoppen een fijner spuitbeeld geven dan de kegeldoppen. Dit is gebleken doordat de resultaten van de spleetdop over meer druppels beschikken en doordat de druppels kleiner zijn dan bij de kegeldoppen, zie tabel 3 en figuur 22. Uit de resultaten is gebleken dat de vloeistofbedekking, bij gebruik van spleetdoppen, over 30% meer druppels beschikken dan bij gebruik van kegeldoppen. Daarnaast is de druppelgrootte bij gebruik van spleetdoppen gemiddeld drie keer zo klein dan bij gebruik van gelijkwaardige kegeldoppen.

4.2 DISCUSSIE OP DE RESULTATEN VAN DEELVRAAG 1

In hoeverre is een boom-specifieke bespuiting in de praktijk realiseerbaar met de externe factoren welke van invloed zijn op het spuitbeeld?

Uit de resultaten van deelvraag 1 is gebleken dat de nauwkeurigheid van een boom-specifieke bespuiting wordt beïnvloed door onder andere rijnsnelheid en wind. De verwachting was dat het spuitbeeld in de praktijk niet precies de vorm van de boomvlakken aanneemt, zoals deze in de taakkaart weergegeven is. Deze verwachting, welke in figuur 14 te zien is, komt overeen met de resultaten uit het onderzoek met watergevoelig papier. Echter beschikt een volgroeide boomgaard gedurende zeven á acht maanden in het jaar over een bladbedekking, in tegenstelling tot de proef waarin er geen blad aan de boom aanwezig was. Dit blad zorgt ervoor dat het spuitbeeld in de boomgaard minder last heeft van wind en daardoor een minder grote vervorming aanneemt. Omdat deze proefbespuiting uitging van de meest extreme veldomstandigheden zal de precisie van een boom specifieke bespuiting gedurende het groeiseizoen verbeteren. Ook werd tijdens de proefbespuiting een boomafstand gehanteerd van 92 centimeter. Wanneer dezelfde techniek wordt toegepast bij een perceel met een grotere plantafstand, wat meestal het geval is, zal de precisie van de bespuiting toenemen. Bij het kiezen van de boomafstand van een nieuw perceel is het dus verstandig om mee te nemen dat een korte boomafstand een minder precisie bespuiting oplevert.

Naast de externe factoren, welke van invloed zijn op de nauwkeurigheid van een precisiebespuiting, zijn er ook interne factoren welke het spuitbeeld beïnvloeden. Zo zorgt de schakeltijd van de elektrisch gestuurde kranen ervoor dat de spuitdoppen net iets later opengaan dan dat de taakkaart aanstuurt. Bovendien moet de spuitvloeistof een bepaalde afstand afleggen vanaf de spuitdop totdat de boom daadwerkelijk geraakt wordt. Om ervoor te zorgen dat deze vertragingstijd geminimaliseerd wordt, beschikt het GPS-systeem over een in te stellen voorschakeltijd. Deze instelling zorgt ervoor dat de elektrische kranen iets eerder aangestuurd worden dan dat de taakkaart aangeeft. Tijdens de proefbespuiting was deze instelling ingeschakeld, waardoor deze afwijking theoretisch uitgesloten is. Wanneer een boom-specifieke bespuiting wordt uitgevoerd, is het verstandig om met behulp van watergevoelig te controleren of de voorschakeltijd juist is ingesteld.

Ook is de luchtondersteuning op de spuitmachine van invloed op het spuitbeeld, zoals in de verwachting bij figuur 10 beschreven staat. De luchtondersteuning zorgt ervoor dat het spuitmiddel in horizontale richting op de boom terecht komt. Echter zorgt de luchtondersteuning ervoor dat het spuitmiddel wordt meegenomen door de wind en een andere vorm aanneemt dan dat de spuitdoppen afgeven. In het onderzoek is geen onderscheid gemaakt tussen wel - of geen gebruik van luchtondersteuning.

Verder is uit de resultaten van bijlage H, tabel 1 te herleiden dat er een aantal metingen sterk afwijken van het gemiddelde. Bij deze herhalingen is de bedekking vele malen lager dan dat het gemiddelde van de meting aangeeft. Deze uitzonderingen kunnen te maken hebben met een obstakel, zoals een tak, waardoor spuitmiddel het watergevoelig papier niet goed kon bereiken. Echter biedt deze uitkomst een weerspiegeling vanuit de praktijk, omdat nooit 100% van de boom geraakt zal worden door het spuitmiddel. Wel zorgen deze steekproeven ervoor dat het gemiddelde bedekkingspercentage omlaag gebracht wordt. Dit verschijnsel vormt de oorzaak van het feit dat de gemiddelde waarden uit de resultaten lager zijn dan de nulmeting. Het is dus van belang om een boom-specifieke bespuiting altijd vanaf twee kanten van de boom uit te voeren, zodat de gehele boom wordt bedekt met spuitmiddel. Tijdens de proef was dit geen optie omdat een tweezijdige bespuiting minder betrouwbare resultaten oplevert.

4.3 DISCUSSIE OP DE RESULTATEN VAN DEELVRAAG 2

Wat is het significante verschil tussen gebruik van spleetdoppen of kegeldoppen tijdens een boom-specifieke bespuiting?

Uit de resultaten van deelvraag twee is gebleken dat de spleetdoppen een hogere nauwkeurigheid opleveren bij een boom specifieke bespuiting dan kegeldoppen. Dit resultaat komt overeen met de verwachting zoals in §1.6 beschreven staat. Kegeldoppen hebben een breder spuitbeeld dan spleetdoppen welke in verticale richting zijn afgesteld. Doordat de spuitmachine was uitgerust met beide typen spuitdoppen was de schakeltijd tussen de spleet - en kegeldoppen precies gelijk. Dit zorgt ervoor dat het spuitbeeld bij de kegeldoppen groter is dan het spuitvlak waarop de machine wordt aangestuurd. Het watergevoelig papier van de posities B en C was tijdens de proef net buiten het ingestelde spuitvlak, maar binnen het bereik van het spuitbeeld van de kegeldoppen opgehangen. Dit heeft ervoor gezorgd dat de resultaten van de kegeldoppen minder goed overeenkomen met de gewenste meetwaarden. Om ervoor te zorgen dat er met kegeldoppen een nauwkeurig resultaat behaald wordt, dient het spuitvlak waarop de machine wordt aangestuurd aangepast te worden.

Naast de nauwkeurigheid van beide typen spuitdoppen zijn in de resultaten verschillen te zien tussen de gemiddelde bedekking. In de resultaten is te zien dat de kegeldoppen een grotere bedekking aanbrengen dan de spleetdoppen, wat overeenkomt met de verwachting van §1.6. De verwachting was dat de kegeldoppen een betere bedekking aanbrengen, doordat het spuitmiddel in twee hoeken op de boom wordt aangebracht. Dit kan de oorzaak wezen van het feit dat de kegeldoppen in de resultaten een grotere bedekking laten zien dan de spleetdoppen. Om dit verschil te compenseren moet bij gebruik van spleetdoppen de dosering aangepast worden. Uit de resultaten is gebleken dat de gemiddelde bedekking bij spleetdoppen circa 10% lager is dan dat de vergelijkbare kegeldoppen afgeven.

Buiten de manier waarop kegeldoppen het spuitmiddel op de boom aanbrengen, werd ook de druppelgrootte en het aantal druppels op het watergevoelig papier gemeten. Uit de resultaten is gebleken dat de spleetdoppen een fijnere nevel creëren dan de kegeldoppen. Dit resultaat was buiten verwachting omdat er met twee gelijkwaardige typen

spuitsproevers gereden werd. Een fijnere nevel zorgt ervoor dat er een betere spuitmiddelbedekking op de boom gevormd wordt. Tevens zorgt een fijne nevel ervoor dat er meer spuitmiddel verwaait naar plaatsen waar het niet terecht moet komen zoals het gras of een boom in een andere rij. Dit kan nog een oorzaak wezen waarom de resultaten van de sproeiers, ondanks de fijnere nevel, een lagere bedekking hebben dan de resultaten van de kegeldoppen. Deze resultaten tonen aan welke sproeier het beste spuitbeeld geven en dus met welk type sproeier het best gewerkt kan worden.

4.4 REFLECTIE OP DE ONDERZOEKSMETHODE

Uit het onderzoek naar precisie spuittechnologie in de praktijk zijn heldere resultaten gekomen op basis van een steekproef. Na het analyseren van de resultaten is gebleken dat watergevoelig papier een uitstekende methode is om de bedekking en het spuitbeeld van een boom-specifieke bespuiting te meten. In combinatie met de software van ImageJ worden de visuele resultaten op het watergevoelig papier uitstekend gedigitaliseerd. Belangrijk voor het meten van de resultaten is dat alle watergevoelige papieren op dezelfde methode worden geanalyseerd. Omdat de software rekenend aan de hand van pixels is het belangrijk dat alle foto's dezelfde scherpte hebben. Daarnaast is het belangrijk dat er geen ruis op de resultaten aanwezig is zoals vlekken of vingerafdrukken.

Uit de resultaten is gebleken dat het uitvoeren van nulmetingen essentieel is voor de validatie van een boom-specifieke bespuiting. In het onderzoek is van elke rijnsnelheid en elk type sproeier slechts één nulmeting uitgevoerd wat niet honderd procent betrouwbaar is. Echter geven deze nulmetingen slechts een vergelijking en worden de resultaten niet beïnvloed. De resultaten werden vastgesteld op basis van een steekproef, met daarin drie metingen per boom en acht herhalingen. De steekproef gaf een duidelijk contrast tussen het gebruik van sproeiers en kegeldoppen, maar de nauwkeurigheid werd niet exact vastgesteld. Voor een exacte nauwkeurigheidsmeting zou een groter oppervlakte gemeten moeten worden dan dat met watergevoelig papier haalbaar is. Echter is het dan moeilijker om de resultaten als concreet getal te weergeven.

De dosering welke toegepast werd tijdens de bespuiting was hoog genoeg om variatie te meten in de steekproeven. Echter had een hogere dosering, van bijvoorbeeld 300 liter per hectare, een groter contrast opgeleverd en dus een nauwkeuriger resultaat. Omdat de dosering was vastgesteld in de taakkaart, kon deze tijdens de proef niet gewijzigd worden.

De indeling van het proefveld was groot genoeg om ervoor te zorgen dat er geen overlap optrad tijdens beide rijrichtingen. Ook was het proefveld groot genoeg om een herhaling van acht metingen te realiseren binnen dezelfde bomenrij. Omdat het perceel op basis van gps was aangeplant, stonden de bomen in alle richtingen op een rechte lijn. In de taakkaart kan hierdoor gemakkelijk een raster gemaakt worden van de boomvlakken. In de praktijk staan niet altijd alle bomen in een rechte lijn, zoals bij een ouder perceel, waardoor de nauwkeurigheid van de bespuiting afneemt. Tevens is tijdens het maken van de taakkaart geconstateerd dat de taakkaart van het planten als basis kan dienen voor de taakkaart welke voor de boom-specifieke bespuiting gebruikt wordt.

Daarnaast is het tijdens een boom-specifieke bespuiting van belang dat vooraf vastgesteld wordt hoe groot het te spuiten oppervlakte is. Omdat een deel van het perceel niet gespoten zal worden, is het te spuiten oppervlakte kleiner dan de werkelijke perceel grootte. Tijdens het experiment werd er gespoten met schoon leidingwater, waarvan het restant in de tank gemakkelijk geloosd kon worden. Echter is dit in de praktijk niet het geval en zit de teler met een resterende hoeveelheid vloeistof. Wanneer het te spuiten oppervlakte voor het tanken berekend wordt, kunnen gewasbeschermingsmiddelen en water bespaard worden.

HOOFDSTUK 5: CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Nadat de resultaten geanalyseerd zijn en de onderzoeksmethode gereflecteerd is, zijn in dit hoofdstuk de conclusies beschreven gevolgd door de aanbevelingen. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de onderzoeksvraag welke vooraf het onderzoek vastgesteld is.

5.1 DOEL VAN HET ONDERZOEK

In het onderzoek naar smart farming in de hard-fruitteltsector werd de precisie van boom-specifieke spuittechnieken geanalyseerd. Met behulp van precisiespuiten kan er beter aan de behoefte van het gewas worden voldaan waardoor een egalere gewas ontstaat. Met name tijdens de chemische vruchtdunning in de bloeiperiode biedt precisiespuiten een groot voordeel op voor de rest van het groeiseizoen. In dit onderzoek werd de nauwkeurigheid van de boom-specifieke bespuiting geanalyseerd. Niet alleen interne factoren van de spuitmachine zelf zijn bepalend voor de precisie, maar ook externe factoren zoals wind kunnen ervoor zorgen dat de bespuiting minder nauwkeurig is dan gewenst. Het doel van het onderzoek was om vast te stellen in hoeverre deze factoren van invloed zijn op de bespuiting, zodat de mogelijkheden van het gps gestuurde systeem in kaart gebracht kan worden. Het resultaat van het onderzoek zorgt ervoor dat smart farming dichterbij de praktijk staat in de fruitteltsector.

5.2 ANTWOORD OP DE ONDERZOEKSVRAGEN

Deelvraag 1: In hoeverre is een boom-specifieke bespuiting in de praktijk realiseerbaar met de externe factoren welke van invloed zijn op het spuitbeeld?

Met de nieuwste ontwikkelingen op gebied van gps-aansturing is het mogelijk om boom-specifiek een boomgaard te bespuiten. Door een voorschakeltijd in te stellen wordt de vertraging tussen de taakkaart en de daadwerkelijke vloeistofafgifte gecompenseerd. Ook is het belangrijk dat er niet te veel wind staat en dat de ventilator van de spuitmachine niet te hard blaast, waardoor de bomenrij ernaast geraakt wordt. De schakeltijd van het gebruikte spuitsysteem is snel genoeg voor een rijsnelheid van zeven kilometer per uur en een boomafstand van 92 centimeter. Bij deze instellingen kwam gemiddeld 15% van het opgenomen spuitmiddel op de onbespoten boom terecht. Afhankelijk van het gebruikte gewasbeschermingsmiddel is dit percentage laag genoeg om de werking van het middel op de onbespoten boom te minimaliseren. Voor een nauwkeurige bespuiting is het van belang dat de boomvlakken in de taakkaart overeenkomen met de werkelijke boomposities. Bij voorkeur is het perceel aan de hand van gps geplant zodat de boomvlakken in de taakkaart als een raster ingesteld kan worden.

Deelvraag 2: Wat is het significante verschil tussen gebruik van speeddoppen of kegeldoppen tijdens een boom-specifieke bespuiting?

Door de spuitmachine uit te voeren met twee verschillende typen spuitdoppen kon de vergelijking gemaakt worden onder exact dezelfde omstandigheden. Beide typen spuitdoppen hadden dezelfde afgifte in liters per hectare. Uit de resultaten is gebleken dat met gebruik van spleetdoppen een grotere nauwkeurigheid wordt gerealiseerd dan bij gebruik van kegeldoppen. Bij spleetdoppen komt er gemiddeld 12% van de volledige dosering op de boom terecht welke niet bespoten moet worden. Bij kegeldoppen is dit gemiddeld 54% wat ruim vier keer zoveel is.

Naast de nauwkeurigheid van de bespuiting werd ook het spuitbeeld van beide typen spuitdoppen met elkaar vergeleken. Het spuitbeeld werd bepaald door het aantal druppels- en de gemiddelde druppelgrootte op het watergevoelig papier te meten. Uit de resultaten is gebleken dat het spuitbeeld van spleetdoppen 30% meer druppels bevat dan het spuitbeeld van kegeldoppen. Ook is de druppelgrootte bij de gebruikte spleetdoppen ruim drie keer kleiner dan de druppelgrootte van de kegeldoppen. Deze fijnere nevel zorgt ervoor dat er een egalere bedekking op het blad terecht komt, maar zorgt er tegelijkertijd voor dat er meer spuitmiddel verwaait. Voor een gelijke bedekking dient de spleetdop een 10% hogere afgifte te hebben dan de vergelijkbare kegeldop.

Hoofdvraag: Wat is de mate van nauwkeurigheid van boom-specifieke spuittechnieken in de Nederlandse hard-fruittelte sector?

Een goed afgestelde spuitmachine in combinatie met een perceel welke aan de hand van gps geplant is, kan een nauwkeurigheid van 88% behalen tijdens een boom-specifieke bespuiting. Deze nauwkeurigheid is vastgesteld aan de hand van een steekproef en is gemeten bij een rijsnelheid van 7 kilometer per uur, wat in de praktijk een gangbare rijsnelheid is. De nauwkeurigheid van de bespuiting hangt sterk af van de windsterkte binnen het perceel en een nauwkeurige afstelling van de machine in combinatie met de taakkaart in het GPS-systeem.

5.3 AANBEVELINGEN

Smart farming in de hard-fruittelte sector zorgt ervoor dat er meer rendement uit een perceel gehaald kan worden. Ook kunnen er kosten en arbeid bespaard worden wanneer bijvoorbeeld een chemische vruchtdunning boom-specifiek op basis van een taakkaart wordt uitgevoerd. Op de lange termijn is het voor de fruitteiler belangrijk dat nieuwe percelen nauwkeurig geplant worden, bij voorkeur door gebruik van gps. Dit zorgt ervoor dat de boomvlakken in de taakkaart overeenkomen met de werkelijke boomposities, wat van invloed is op de nauwkeurigheid van de bespuiting. Ook bespaard deze plantmethode veel tijd bij het maken van de taakkaart, doordat er gemakkelijk een raster aangebracht kan worden. Tevens kan dezelfde taakkaart, welke gebruikt is tijdens het planten, als basis dienen voor de taakkaart van een precisiebespuiting. Naast de gebruikte plantmethode zorgt een grote plantafstand voor een nauwkeurige boom-specifieke bespuiting.

Op de korte termijn is het bij de aanschaf van een dergelijk GPS-systeem van belang dat deze in staat is om een machine aan te sturen aan de hand van een taakkaart. Om ervoor te zorgen dat de vertraging van de spuitvloeistof wordt gecompenseerd, dient er een voorschakeltijd ingesteld te worden welke past bij de rijsnelheid. De kallibratie van de voorschakeltijd kan gemakkelijk door middel van watergevoelig papier gecontroleerd worden. Het watergevoelig papier is na de bespuiting direct af te lezen waardoor de spuitmachine gemakkelijk af te stellen is. Daarnaast zorgen spleetdoppen ervoor dat er een nauwkeurige bespuiting gerealiseerd kan worden, waarna nog slechts 12% van het spuitmiddel op de onbespoten bomen terecht komt. Op basis van dit rapport wordt aangeraden om tijdens een boom-specifieke bespuiting met spleetdoppen te werken welke een 10% hogere afgifte hebben dan vergelijkbare kegeldoppen. Deze hogere afgifte zorgt ervoor dat de bedekking op de boom beter overeenkomt met vergelijkbare kegeldoppen. Tevens wordt aangeraden om de bomen altijd vanaf twee kanten te spuiten, zodat de boom in zijn geheel geraakt wordt.

Tot slot wordt op de korte termijn aangeraden voor de teler, welke boom-specifiek gaat spuiten, om in de taakkaart te controleren hoe groot het te spuiten oppervlakte is. Aan de hand daarvan kan bepaald worden hoeveel vloeistof er getankt moet worden. Wanneer dit op elkaar afgestemd is, blijft de gebruiker niet met een restant vloeistof achter in de tank en kunnen water en middelen bespaard worden.

BIBLIOGRAFIE

- (2022). Opgehaald van boerenbunder.nl: <https://boerenbunder.nl/report/51.82671,5.33854/soil>
- ahnviewer. (2022). Opgehaald van ahn.arcgisonline.nl: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
- Carrie Williams. (2007, Maart). *Research Methods*. Opgehaald van clutejournals.com: <https://clutejournals.com/index.php/JBER/article/view/2532/2578>
- Dalfsen, Pieter van. (2021, December 2). Bloesemkaarten als taakkaart voor dunning. Wageningen, Gelderland, Nederland: Wageningen University & Research.
- Guillaume Brès, Franck Perot, David Freed. (2015, November 30). *A Ffowcs Williams–Hawkings Solver for Lattice-Boltzmann based Computational Aeroacoustics*. Opgehaald van arc.aiaa.org: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2010-3711>
- Harold van den Boogaard. (2021, Maart 01). *Bestrijding perenbladvlo*. Opgehaald van agreea.nl: <https://agreea.nl/bestrijding-perenbladvlo/>
- Iperen, V. (2020, april 22). *Vruchtdunning appel en peer*. Opgehaald van www.iperen.com: <https://www.iperen.com/2020/04/22/themabericht-vruchtdunning-appel-en-peer/>
- J.B. Statistics . (sd). *Z-table*. Opgehaald van www.z-table.com: <http://www.z-table.com/>
- Jason Deveau. (2021, juli 27). *Assessing water sensitive paper*. Opgehaald van sprayers101: https://sprayers101.com/assessing_wsp_pt3/
- Johan Budin, P. R. (2012, September 7). *De voordelen van GPS-gestuurd spuiten*. Opgehaald van edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/279202>
- Jonathan Fabula; Ajay Sharda; Joe D. Luck; Edwin Brokesh. (2020, December 19). *Nozzle pressure uniformity and expected droplet size of a pulse width*. Opgehaald van www.sciencedirect.com: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0168169921004051?token=5A9FF96AB4723BFA48B5E143E765872516AF0BB0DE5C7F5CC3BC0A31DCDED0780F628E794E17EE27F10FD5DFF22A7AAD&originRegion=europe-west-1&originCreation=20220502095324>
- Jong, Peter Frans de. (2021). *Precisieniveau's in de fruitteelt*. Opgehaald van wiki.groenkennisnet.nl: <https://wiki.groenkennisnet.nl/display/FEB2/Precisiefruitteelt>
- KNMI. (2022, maart 22). *Waarnemingen*. Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/weer/waarnemingen>
- Kosuke Nishida; Motoyuki Ishii; Shohji Tsushima; Shuichiro Hirai. (2011, Oktober 14). *Detection of water vapor in cathode gas diffusion layer of polymer electrolyte*. Opgehaald van www.elsevier.com: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378775311019756?token=0CD31A50B5575490AB8F50A7D3E090442B931D8F5C922F4D49B639C4A8F8E5B2B4B7F5416927098C6CC676BEDBCDF9EB&originRegion=europe-west-1&originCreation=20220503065107>
- Luis Gonzalez; Estanis Torres; Gloria Àvila; Joan Bonany; Simó Alegre; Joaquim Carbó; Begoña Martín; Inmaculada Recasens; Luis Asin. (2019, Augustus 08). *Evaluation of chemical fruit thinning efficiency using Brevis® (Metamitron)*. Opgehaald van www.elsevier.com: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0304423819308891?token=4A18161C4FC48DB7AD73B8623CB8E89D74883194B152DDC40607B1C13AAAC93C7AAB3BD1236EA8F14B163A44249137E8&originRegion=europe-west-1&originCreation=20220502092350>

- Nationale proeftuin precisie landbouw. (2021, December 21). *Precisiespuiten fruitteelt*. Opgehaald van [www.proeftuinprecisielandbouw.nl](https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/techniek/sensor-gestuurde-gewasbescherming-in-fruit/): <https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/techniek/sensor-gestuurde-gewasbescherming-in-fruit/>
- NPPL. (2022). *RTK correctie*. Opgehaald van https://aeres.instructure.com/courses/2785/pages/week-6-introductie-precisielandbouw-and-sensoren?module_item_id=163570
- Orpet, Robert J; Jones, Vincent P; Beers, Elizabeth H; Reganold, John P; Goldberger, Jessica R; Crowder, David W. (2019, Maart 22). *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Opgehaald van [www.sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880919303391#:~:text=Organic%20orchards%20used%20more%20insecticide,abundance%2C%20and%20natural%20enemy%20abundance): <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880919303391#:~:text=Organic%20orchards%20used%20more%20insecticide,abundance%2C%20and%20natural%20enemy%20abundance>.
- Peter Frans de Jong. (2018, Juni 18). *Fruit 4.0 genomineerd voor ICT-prijs*. Opgehaald van [https://www.wur.nl](https://www.wur.nl/https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Economic-Research/show-wecr/Fruit-4.0-genomineerd-voor-ICT-prijs.htm): <https://www.wur.nl/https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Economic-Research/show-wecr/Fruit-4.0-genomineerd-voor-ICT-prijs.htm>
- proeftuinrandwijk. (2021, December 22). *Toonaangevend kenniscentrum voor onafhankelijk praktijkonderzoek*. Opgehaald van www.proeftuinrandwijk.nl: <https://www.proeftuinrandwijk.nl/>
- R.P. Van Zuydam. (1999, Maart 19). *A driver's steering aid for an agricultural*. Opgehaald van [www.sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169999000472): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169999000472>
- René Bal. (2022, Januari 31). *Nieuws*. Opgehaald van [smartfarming.nl](https://smartfarming.nl/https://smartfarming.nl/nieuws/2022/01/31/zeeuwse-fruitteler-bespaart-kosten-met-precisietechnieken): <https://smartfarming.nl/https://smartfarming.nl/nieuws/2022/01/31/zeeuwse-fruitteler-bespaart-kosten-met-precisietechnieken>
- Rijkswaterstaat. (2021, November 2). *Meetprotocol voor het vaststellen van de driftreductie van spuitdoppen voor neerwaartse en op- en zijwaartse bespuiting*. Opgehaald van [www.helpdeskwater.nl](https://www.helpdeskwater.nl/https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/): [https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/](https://www.helpdeskwater.nl/https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/)
- Roeland Coopman. (2020). *Regeling per spuitdop*. Opgehaald van [www.agrifac.com](https://www.agrifac.com/https://www.agrifac.com/nl/duurzame-landbouw/pulsbreedtemodulatie-pwm-spuiten/): <https://www.agrifac.com/https://www.agrifac.com/nl/duurzame-landbouw/pulsbreedtemodulatie-pwm-spuiten/>
- Ruysen, Kris. (2018, Maart 14). *Nieuwe spleetdop scoort goed*. Opgehaald van [www.pcfuit.be](https://www.pcfuit.be/https://www.pcfuit.be/sites/default/files/ruysen_kris_fruit2018_05_nieuwe_spleetdop_scoort_goed_lechler_idk_90.pdf): https://www.pcfuit.be/https://www.pcfuit.be/sites/default/files/ruysen_kris_fruit2018_05_nieuwe_spleetdop_scoort_goed_lechler_idk_90.pdf
- Ryszard Hołownicki; Grzegorz Doruchowski; Waldemar Swiechowski; Paweł Konopacki; Artur Godyń. (2021, September 07). *Effect of Nozzle Type and Adjuvants on Spray Coverage on apple leaves*. Opgehaald van [www.mdpi.com](https://www.mdpi.com/https://www.mdpi.com/2073-4395/11/9/1790): <https://www.mdpi.com/https://www.mdpi.com/2073-4395/11/9/1790>
- T.T. Groot, P. van Velde, H. Stallinga, A. Nieuwenhuizen, H.J. Holterman. (2014, December). *Analyse van de Spotspray van een PWM-spuitdop*. Opgehaald van [https://library.wur.nl](https://library.wur.nl/https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/328037): <https://library.wur.nl/https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/328037>
- Tagliavini, Massimo; Marangoni, Bruno. (2002, Maart). *Major Nutritional Issues in Deciduous Fruit Orchards of Northern Italy*. Opgehaald van [journals.ashs.org](https://journals.ashs.org/https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/12/1/article-p26.xml): <https://journals.ashs.org/https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/12/1/article-p26.xml>
- Technische Commissie Techniekbeoordeling (TCT). (2022, April 04). *Driftreducerende spuittechnieken*. Opgehaald van [www.helpdeskwater.nl](https://www.helpdeskwater.nl/https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/): <https://www.helpdeskwater.nl/https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/>
- Tomaž Kosar; Sudev Bohra; Marjan Mernik. (2018, Juli 23). *A Systematic Mapping Study driven by the margin of error*. Opgehaald van [reader.elsevier.com](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0164121218301353?token=5D8D57234DA0DB867B5340AFCB4B): <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0164121218301353?token=5D8D57234DA0DB867B5340AFCB4B>

B9451F813A367FFEDFF2A128DD57D95D86CC2BB4C304D47556C37F6E555B95F41B61&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220503061434

Wageningen University & Research. (2021, Mei 26). *Fruitareaal en aantal bedrijven*. Opgehaald van [www.agrimatie.nl](https://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2232§orID=2237): <https://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2232§orID=2237>

Wageningen University & Research. (2021, November 01). *Veel fruitteelt in de Betuwe, Zeeland en Limburg*. Opgehaald van [www.agrimatie.nl](https://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2232§orID=2237&themaID=2285): <https://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2232§orID=2237&themaID=2285>

Willem van Asch. (2014). *Perceelindeling Waalbandijk 100*. Tiel.

Willem van Asch. (2022, Maart). *Waalbandijk 100 Varik. Taakkaart boomvlakken proefperceel De Jong*. Tiel.

Wouter van Teeffelen. (2021, December 24). *Demoproef bij NPPL-teler toont meerwaarde boomspecifiek fruittelen*. Opgehaald van [www.proeftuinprecisielandbouw.nl](https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/demoproef-bij-nppl-teler-toont-meerwaarde-boomspecifiek-fruittelen/): <https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/demoproef-bij-nppl-teler-toont-meerwaarde-boomspecifiek-fruittelen/>

BIJLAGE A: RELEVANTE ONDERZOEKSINSTELLINGEN

Ondanks dat het spuiten op boom-niveau in de fruitteeltsector een hot-item is wordt deze techniek tot heden door slechts een klein aantal fruittelers in de praktijk toegepast. Binnen de Nederlandse fruitteeltsector wordt er door verschillende organisaties onderzoek gedaan naar data gedreven fruitteelt. De volgende organisaties hebben de afgelopen jaren onderzoek gedaan naar smart farming in de fruitteeltsector:

Onderzoeksproject NPPL

“Precisiespuiten fruitteelt

Bij deze toepassing gaat het om het gebruik van sensoren bij het plaat specifiek toepassen van gewasbeschermingsmiddelen in de fruitteelt.

Er kunnen meerdere (sensor)systemen, zoals drones, bodemscanners of historische data, gebruikt worden om vooraf een beslissing te nemen waar wel en niet gespoten dient te worden. De spuit kan dan door middel van een taakkaart deze bespuiting ook zo uitvoeren. Vervolgens is de spuit uitgerust met chlorofyl sensoren, zodat de gaten tussen de bomen niet gespoten worden, wat een positieve uitwerking heeft op middelgebruik en drift. Zowel aan de kant van data als aan de kant van beslisregels als aan kant van toedieningstechniek valt er veel te kiezen.” (Nationale proeftuin precisie landbouw, 2021)

Onderzoeksbureau en voorlichtingsonderneming Delphy

Delphy staat voor Worldwide Expertise for Food & Flowers en heeft een zeer breed onderzoeksteam op gebied van de wereldwijde plantaardige sector. Binnen het hardfruit heeft Delphy een drietal adviseurs en een onderzoeker werkzaam. In samenwerking met BBleap heeft Delphy een onderzoek opgesteld waarin het spuiten op boom niveau in de praktijk getest wordt. Dit project is in 2020 gestart door adviseur en fruitteler René Bal, door een taakkaart gestuurd systeem op zijn boomgaardspuit te laten bouwen welke op het fruitteeltbedrijf toegepast wordt.

Proeftuin Randwijk

De proeftuin werkt door middel van een stuurgroep welke bestaat uit een netwerk van verschillende onafhankelijke ondernemingen waaronder: Fruitconsult BV, de Centrale Adviesdienst voor de Fruitteelt (CAF), de Nederlandse Fruittelersorganisatie (NFO) en Wageningen University & Research Randwijk (WUR). De proeftuin bestaat uit een areaal van ruim 20 hectare welke bestaat uit appel, peren, kersen pruimenbomen en kruinfruit zoals bessen en frambozen. Ook wordt de proeftuin ingezet voor onderzoek naar gewasbescherming, snoeien, biodiversiteit en precisietechnieken.

“Proeftuin Randwijk is dé centrale plaats in Nederland waar onafhankelijk en praktijkgericht innovatie en kennisontwikkeling voor de Nederlandse fruitteelt plaatsvindt. Wij richten ons op professionele partijen in de conventionele en biologische fruitteeltsector. Onze focus ligt op duurzaamheid, op kwaliteit en op efficiënte en rendabele productiesystemen. Op de proeftuin is een interessante mix te zien van fundamenteel onderzoek en praktijkgerichte demo's op het gebied van duurzame fruitteelt, moderne rassen en onderstammen, efficiënte productiesystemen en technologie.”

(proeftuinrandwijk, 2021)

Producent en ontwikkelaar BBleap

BBleap is een onderneming welke gespecialiseerd is op bespuitingen op plant niveau zowel binnen de akkerbouw -als binnen de fruitteeltsector. Het bedrijf ontwikkelt, produceert en installeert data-gedreven systemen vanaf het real-time monitoren van de bodem tot en met het bespuiten op plant -of boomniveau. Het bedrijf heeft naast de GPS-gestuurde sectie-controle module een PWM-systeem ontwikkeld welke zowel in de landbouw als in de fruitteelt toepasbaar is. Het systeem werkt in combinatie met vele verschillende GPS-fabrikanten en is daarmee universeel toepasbaar.

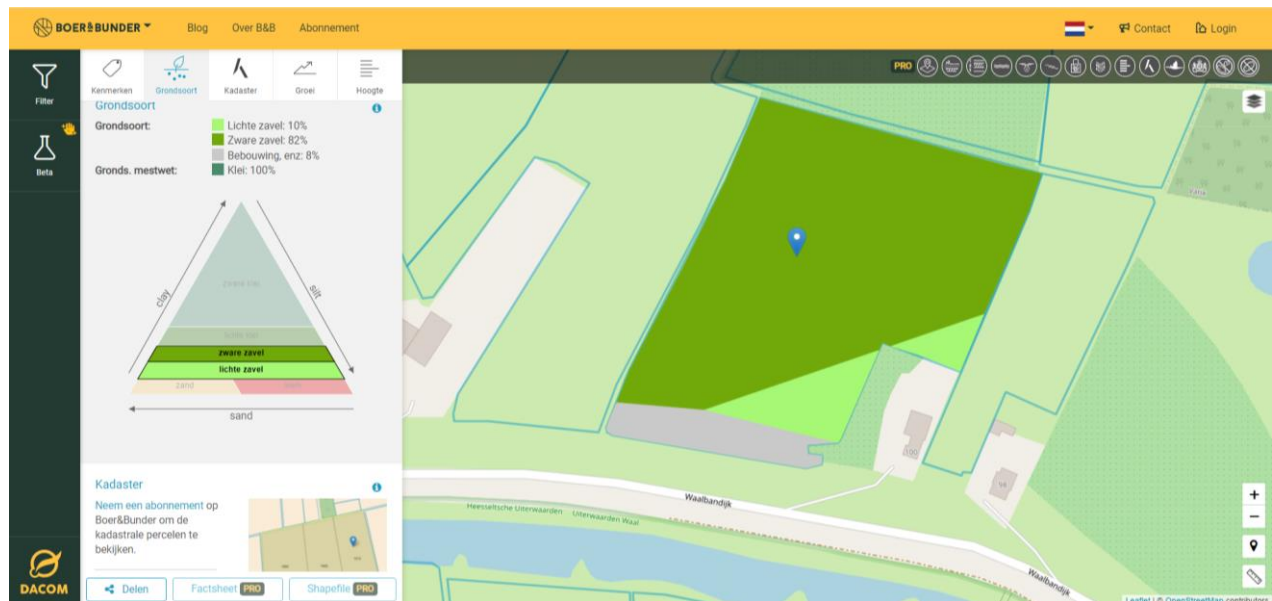
Producent en ontwikkelaar Raven Europe

Raven Europe is de Nederlandse importeur van de Amerikaanse GPS-producent Raven. Naast de ontwikkeling van GPS-gestuurde systemen voor de akkerbouw is het bedrijf bezig met het toepassen van PWM-spuittechnologie in de fruitsector. Doordat Raven zowel de GPS-aansturing op de trekker, als de aansturing van het werktuig en de PWM-spuittechniek in eigen beheer ontwikkeld en produceert kan het bedrijf het gehele pakket verzorgen. Momenteel wordt het systeem uitvoerig in de fruitteelt getest in samenwerking met GPX Solutions B.V. en Van der Linden Fruitteeltmachines.

BIJLAGE B: INDELING EN DE EIGENSCHAPPEN VAN HET PROEFPERCEEL.

Figuur 1

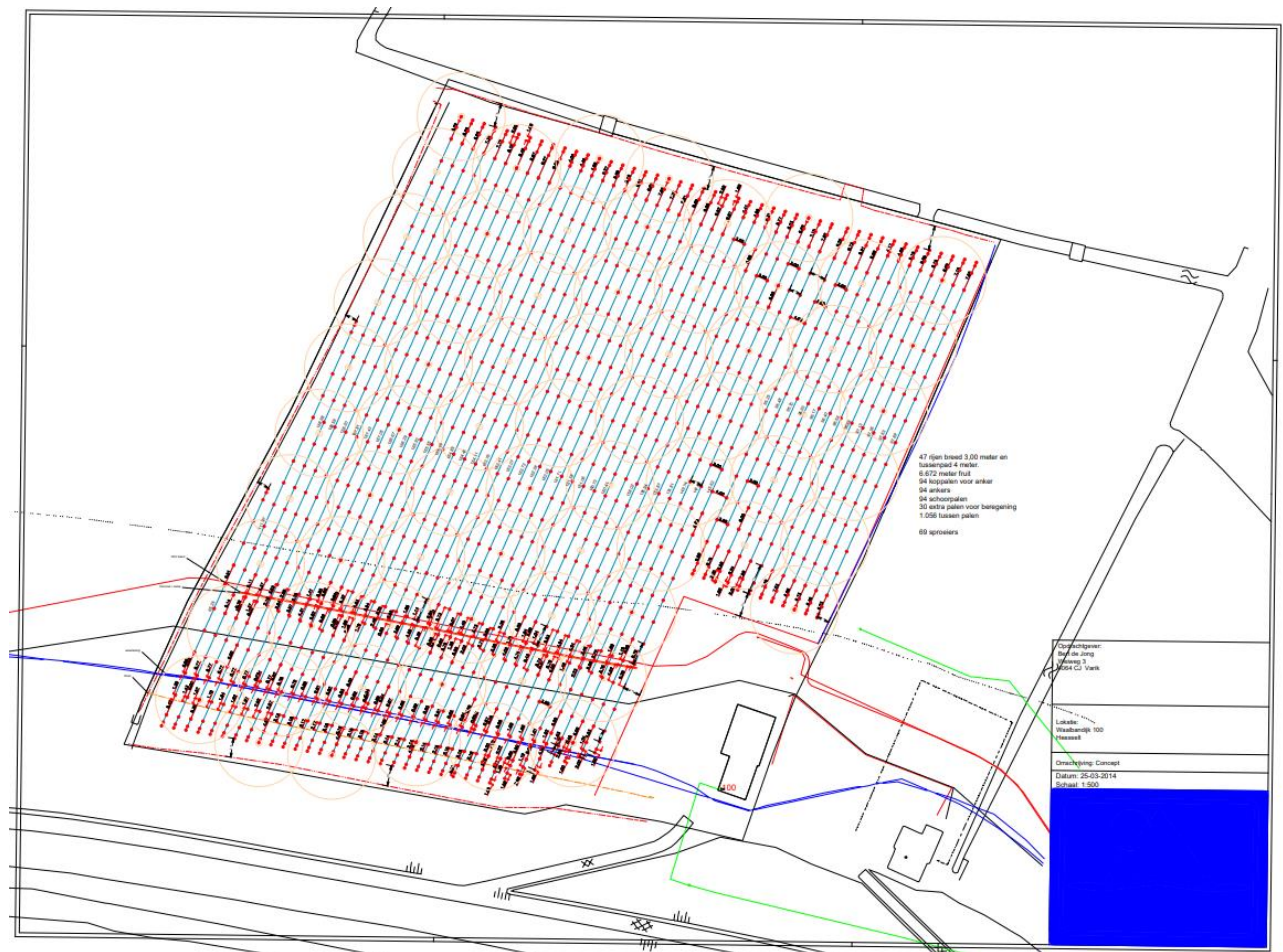
Bodemkaart van het proefperceel aan de Waalbandijk in Varik.



Opmerking. Overgenomen uit *Grondsoort*, door (boerenbunder.nl, 2022), (<https://boerenbunder.nl/report/51.82671,5.33854/soil>), Boerenbunder.

Figuur 2

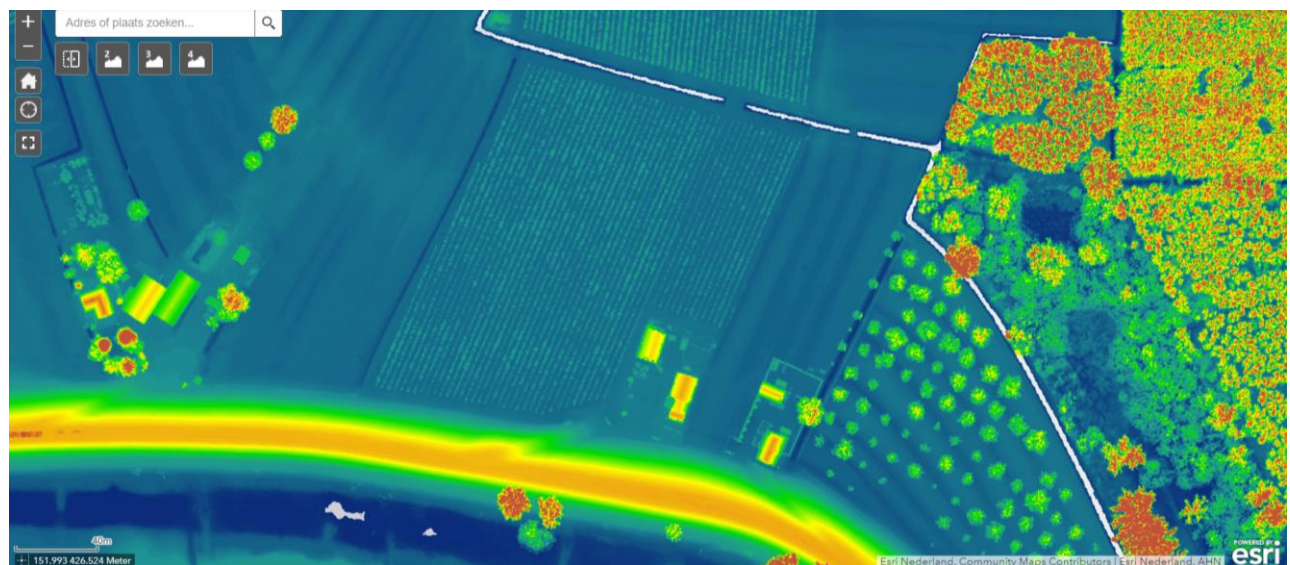
Perceelindeling van het proefveld op basis van GPS coördinaten.



(Willem van Asch, 2014)

Figuur 3

Hoogtekaart van het proefperceel aan de Waalbandijk in Varik.



Opmerking. Overgenomen uit *arcgisonline*, door (ahnviewer, 2022), (<https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>), ahnviewer.

Taakkaart van het proefveld aan de Waalbandijk 100 Varik



BIJLAGE C: ERKENNING DRIFTREDUCTIE OP- EN ZIJWAARTSE SPUITTECHNIKEN IN DE FRUITTEELT.

Figuur 1

Lijst met indeling van spuittechnieken in Drift Reducerende Techniek-klassen.

Driftreducerende spuittechniek	DriftReducerende Techniek-klassen (DRT-klassen)					Druk-registratie-voorziening	Nr. informatie-blad
	75%	90%	95%	97,5%	99%		
H.S.S. CF boomgaardspuit met H.S.S. Drift Control en H.S.S. Automatic Wind Control met automatische hoekverdraaiing van blaasmonden + spuitdoppen ten minste DRD 90% + lage luchtinstelling met maximaal toerental van 1400 rpm op ventilator + eenzijdig bespuiten van buitenste fruitgewasrij, alleen perceel inwaarts							
H.S.S. CF boomgaardspuit met Intelligent Spray Application (I.S.A.) + spuitdoppen Lechler IDK 90-015 C (maximale spuitdruk 3 bar) of spuitdoppen ten minste DRD 90% + maximaal toerental van 1400 rpm op ventilator + eenzijdig bespuiten van buitenste fruitgewasrij, alleen perceel inwaarts							14
Windhaag voor de periode vanaf 1 mei tot 50% bladval van de windhaag + standaardtechniek							6
Windhaag voor de periode vanaf 1 mei tot 50% bladval van de windhaag + standaardtechniek + éénzijdig bespuiten van buitenste gewasrij, alleen perceel inwaarts							
KWH Mistral dwarsstroomspuit uitgerust met Variabel Luchtondersteuning Balans Systeem (VLBS) + spuitdoppen ten minste DRD 90% + lage lucht instelling + maximaal toerental van 540 rpm op aftakas							7
KWH Mistral dwarsstroomspuit uitgerust met Variabel Luchtondersteuning Balans Systeem (VLBS) + spuitdoppen ten minste DRD 90% + lage lucht instelling + maximaal toerental van 400 rpm op aftakas							
Wanner dwarsstroomspuit 2-rijer met reflectieschermen + spuitdoppen ten minste DRD 75% + maximaal toerental van 1400 rpm op ventilator							8
Wanner NTR 20 dwarsstroomspuit 2-rijer met reflectieschermen + spuitdoppen ten minste DRD 90% + richting luchtstroom op basis van windrichting + hoeveelheid lucht op basis van windsterkte en windrichting + bovenzijde afgedekt + ventilator ingesteld op 1400 rpm							9
Lochmann tweerijen tunnelspuit + spuitdoppen ten minste DRD 90% + toerental op aftakas maximaal 540 rpm							10
Lochmann NL dwarsstroomspuit met Air Closing System + spuitdoppen ten minste DRD 90% + lage luchtinstelling + maximaal toerental van 300 rpm op aftakas + bespuiting buitenste drie gewasrijen langs perceelsrand klep van luchtondersteuning naar buiten het perceel 80% dicht + bespuiting laatste gewasrij vanaf rijpad gelegen tussen deze gewasrij en perceelsrand naar buitenzijde van perceel gerichte spuitdoppen en klep van luchtondersteuning afgesloten/dicht							11

Opmerking. Overgenomen uit *Driftreducerende spuittechnieken*, door (Technische Commissie Techniekbeoordeling (TCT), 2022), (<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/>), Helpdeskwater.

BIJLAGE D: INFORMATIEBLAD LOCHMANN NL DWARSSTROOMSPUIT MET AIR CLOSING SYSTEM

1.	Naam driftreducerende techniek of maatregel	Lochmann NL dwarsstroomspuit met Air Closing System
2.	Gegevens bedrijf/leverancier	Van der Linden Fruitteelt Machines Waaldijk 19 6621 KG DREUMEL Tel.: 0487-570676 Mobiel: 06-24251965 E: info@vdlfruitteeltmachines.nl W: www.vdlfruitteeltmachines.nl
3.	DRT-klasse(n)	99%
4.	Beschrijving driftreducerende techniek of maatregel en werkingsprincipe	Het betreft een dwarsstroomspuit van het type Lochmann NL uitgerust met het Air Closing System. De hoge driftreductie wordt bereikt door het gebruik van driftreducerende spuitdoppen, een lage luchtinstelling en het gebruik van het Air Closing System (ACS). Lage luchtinstelling wordt gerealiseerd door de overbrengingsverhouding van de ventilator op de dwarsstroomspuit op de stand 1:2,47 (tandwielkast) te zetten in combinatie met een toerental van 300 rpm op de aftakas. De overbrengingsverhouding wordt ingesteld door middel van een handgreep (hendel). Op de spuittank is dit aangeduid met de afbeelding van een slak (links) (zie foto's in de bijlage). De 300 rpm van het aftakastoerental is altijd af te lezen in de tractor. Met behulp van het Air Closing System (ACS) wordt de dwarsstroomspuit zo ingesteld dat bij bespuiting van de buitenste drie fruitbomenrijen langs het oppervlaktewater/de rand van het perceel de lucht naar buiten het perceel 80% lager is dan de lucht het perceel in. De luchthoeveelheid naar buiten het perceel is slechts 20% van de capaciteit ('luchtklep 80% dicht') en de luchthoeveelheid het perceel in is 100% van de capaciteit ('luchtklep open'). Bij bespuiting van de buitenste fruitbomenrij vanaf het rijpad aan de buitenkant van het perceel of langs het oppervlaktewater moeten de spuitdoppen en de luchtuitstroomopening naar de buitenzijde van het perceel afgesloten/dicht zijn ('luchtklep dicht'). Het ACS dient per spuitgang handmatig te worden ingesteld via knoppen op het touchscreen van de spuitcomputer met daarop per spuitrichting ten opzichte van de rijrichting drie knoppen voor de bediening van de luchtuitstroomopening links en rechts: (1) luchtklep open, (2) luchtklep 80% dicht en (3) luchtklep dicht.

		Het touchscreen laat door middel van de volgende drie kleuren en teksten boven de knoppen zien hoe de luchtuitstroomopening aan beide zijden van de dwarsstroomspuit (spuitrichtingen) is ingesteld: 1. Licht groen - LUCHTKLEP LINKS/RECHTS OPEN. 2. Donker groen - LUCHTKLEP LINKS/RECHTS 80% DICT. 3. Rood - LUCHTKLEP LINKS/RECHTS DICT. In de bijlage staan foto's ter verduidelijking. De spuitdruk wordt weergegeven op het beeldscherm waardoor het voor de gebruiker zichtbaar is of de maximaal toegestane spuitdruk bij de gebruikte spuitdoppen niet wordt overschreden.
5.	Instellingen/randvoorwaarden voor gebruik driftreducerende techniek of maatregel in relatie tot DRT-klasse(n)	DRT-klasse 99%¹ Lochmann NL dwarsstroomspuit met Air Closing System met: - spuitdoppen uit ten minste DRD-klasse 90%, waarbij de maximale spuitdruk zoals aangegeven in de DRD-lijst niet wordt overschreden; - lage luchtinstelling door overbrengingsverhouding van aftakas op ventilator van 1:2,47 (stand I) op de tandwielkast (slak links); - toerental op aftakas maximaal 300 rpm; - bij bespuiting van buitenste drie fruitbomenrijen langs alle randen van het perceel is de luchtklep van de luchtuitstroomopening naar buiten het perceel 80% dicht; - bij bespuiting van buitenste fruitbomenrij vanaf het rijpad gelegen tussen deze bomenrij en de rand van het perceel zijn de spuitdoppen en luchtuitstroomopening (luchtklep) naar de buitenzijde van het perceel afgesloten/dicht (geldt voor alle perceelsranden); - rijsnelheid maximaal 8 km/uur; - tweezijdig spuiten van buitenste fruitbomenrij is toegestaan.
6.	Waarborgen van juiste werking	De luchtinstellingen van het Air Closing System zijn zeer eenvoudig controleerbaar door visuele inspectie van de klepstand van de luchtuitstroomopening aan beide zijden van de dwarsstroomspuit en via het grote touchscreen van de spuitcomputer dat met kleuren en teksten aangeeft wat de luchtinstellingen zijn.
	Datum goedkeuring TCT	25 februari 2021

¹ De Lochmann NL dwarsstroomspuit met ACS was eerder in de DRT-lijst opgenomen en ingedeeld in DRT-klasse 97,5%. Door aanpassing van de tandwielkast (de overbrengingsverhouding is aangepast van 1:3 naar 1:2,47) is met uitvoering van nieuw driftonderzoek aangetoond dat de Lochmann NL dwarsstroomspuit met ACS ingedeeld kan worden in DRT-klasse 99%.

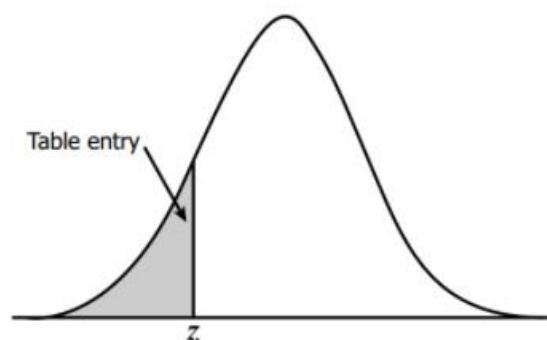
Disclaimer:

De indeling in DRT-klasse(n) zoals aangegeven onder punt 3 in deze tabel is alleen geldig voor de techniek of maatregel met de specificaties/instellingen, zoals gebruikt tijdens het onderzoek en de techniek of maatregel voldoet aan de beschrijving onder punt 4. Verder dient de techniek of maatregel gebruikt te worden met de instellingen/randvoorwaarden, zoals beschreven onder punt 5. Bij aanpassingen van de techniek of maatregel die mogelijk van invloed zijn op de driftreductie is (zijn) de DRT-klasse(n), zoals opgenomen in de DRT-lijst voor die techniek of maatregel, niet langer geldig. Er moet dan een nieuwe aanvraag worden ingediend.

BIJLAGE E: Z-SCORE TABEL

Figuur 1

Z-score tabel welke gebruikt wordt bij het calculeren van de foutmarge.



Find values on the left of the mean in this negative Z score table. Table entries for z represent the area under the bell curve to the left of z . Negative scores in the z -table correspond to the values which are less than the mean.

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
-0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

Opmerking. Overgenomen uit Z SCORE TABLE, door (J.B. Statistics, 2022), (<http://www.z-table.com/>).

BIJLAGE F: RESULTATEN, PERCENTAGE BEDEKKING.
Tabel 1

Resultatentabel waarin de bedekking van spuitmiddel op het watergevoelig papier in percentage is gemeten.

	Pos. A				Bedekking	%	Pos. B				Bedekking	%	Pos. C				Bedekking	%
Kegeldop Noord	K	N	A	1		1,86	K	N	B	1		5,1	K	N	C	1		3,2
	K	N	A	2		1,93	K	N	B	2		5,68	K	N	C	2		2,89
	K	N	A	3		2,64	K	N	B	3		7,43	K	N	C	3		3,39
	K	N	A	4		1,21	K	N	B	4		4,92	K	N	C	4		5,79
	K	N	A	5		2,28	K	N	B	5		4,01	K	N	C	5		2,65
	K	N	A	6		0,88	K	N	B	6		5,1	K	N	C	6		2,2
	K	N	A	7		1,41	K	N	B	7		4,24	K	N	C	6		0,91
	K	N	A	8		0,91	K	N	B	8		4,15	K	N	C	7		3,51
Kegeldop Zuid	Pos. A				Gemiddeld	1,64	Pos. B				Gemiddeld	5,08	Pos. C				Gemiddeld	3,07
	K	Z	A	1		2,21	K	Z	B	1		2,89	K	Z	C	1		2,79
	K	Z	A	2		3,15	K	Z	B	2		3,64	K	Z	C	2		3,92
	K	Z	A	3		2,73	K	Z	B	3		1,69	K	Z	C	3		2,34
	K	Z	A	4		2,09	K	Z	B	4		3,27	K	Z	C	4		4,91
	K	Z	A	5		2,31	K	Z	B	5		2,36	K	Z	C	5		4,06
	K	Z	A	6		1,91	K	Z	B	6		2,46	K	Z	C	6		2,5
	K	Z	A	7		1,74	K	Z	B	7		3,37	K	Z	C	7		3,35
	K	Z	A	8		2,22	K	Z	B	8		3,11	K	Z	C	8		4,83
					Gemiddeld	2,30					Gemiddeld	2,85					Gemiddeld	3,59
	Pos. A				Bedekking	%	Pos. B				Bedekking	%	Pos. C				Bedekking	%
Spleetdop Noord	S	N	A	1		0,95	S	N	B	1		4,7	S	N	C	1		2,24
	S	N	A	2		0,4	S	N	B	2		7,53	S	N	C	2		0,72
	S	N	A	3		0,49	S	N	B	3		7,47	S	N	C	3		4,12
	S	N	A	4		0,13	S	N	B	4		2,67	S	N	C	4		2,06
	S	N	A	5		0,13	S	N	B	5		3,06	S	N	C	5		1,76
	S	N	A	6		0,08	S	N	B	6		5,21	S	N	C	6		1,57
	S	N	A	7		0,42	S	N	B	7		4,51	S	N	C	6		1,48
	S	N	A	8		0,37	S	N	B	8		3,11	S	N	C	7		1,36
Spleetdop Zuid	Pos. A				Gemiddeld	0,37	Pos. B				Gemiddeld	4,78	Pos. C				Gemiddeld	1,91
	S	Z	A	1		0,47	S	Z	B	1		3,35	S	Z	C	1		3,08
	S	Z	A	2		0,02	S	Z	B	2		3,49	S	Z	C	2		3,9
	S	Z	A	3		0,13	S	Z	B	3		1,8	S	Z	C	3		3,84
	S	Z	A	4		0,66	S	Z	B	4		2,51	S	Z	C	4		3,6
	S	Z	A	5		0,78	S	Z	B	5		2,55	S	Z	C	5		4,64
	S	Z	A	6		0,57	S	Z	B	6		3,07	S	Z	C	6		3,74
	S	Z	A	7		0,13	S	Z	B	7		3,27	S	Z	C	7		4,76
	S	Z	A	8		0,84	S	Z	B	8		3,39	S	Z	C	8		3,75
					Gemiddeld	0,45					Gemiddeld	2,93					Gemiddeld	3,91

BIJLAGE G: RESULTATEN, VERGELIJKING SPLEETDOPPEN EN KEGELDOPPEN.

Tabel 1

Resultatentabel waarin spleetdoppen met kegeldoppen vergeleken worden op basis van het aantal druppels en de gemiddelde oppervlakte van de druppels.

Spleetdoppen					Kegeldoppen				
		Count	Average size	% Area			Count	Average size	% Area
SN1	A	227	182	1,66%	KN1	A	197	413	3,52%
	B	177	513	3,73%		B	232	557	5,32%
	C	96	140	0,56%		C	79	554	1,84%
SN2	A	48	112	0,23%	KN2	A	72	409	1,35%
	B	480	230	4,62%		B	114	662	3,55%
	C	121	79	0,42%		C	130	319	1,99%
SN3	A	55	91	0,27%	KN3	A	122	514	2,98%
	B	399	234	4,49%		B	204	648	6,20%
	C	249	198	2,52%		C	78	610	2,28%
SN4	A	33	61	0,08%	KN4	A	33	1004	1,22%
	B	284	175	1,99%		B	154	798	4,39%
	C	198	202	1,63%		C	226	647	5,33%
SN5	A	40	62	0,09%	KN5	A	122	472	2,21%
	B	152	437	2,55%		B	108	828	3,42%
	C	248	146	1,48%		C	131	506	2,54%
SN6	A	32	73	0,09%	KN6	A	60	396	0,88%
	B	512	250	5,13%		B	268	506	5,04%
	C	139	272	1,59%		C	224	256	2,43%
SN7	A	165	74	0,47%	KN7	A	100	356	1,35%
	B	326	346	4,98%		B	103	989	3,98%
	C	197	189	1,50%		C	43	457	0,82%
SN8	A	31	119	0,14%	KN8	A	83	296	0,91%
	B	265	309	2,99%		B	167	553	4,10%
	C	196	180	1,42%		C	191	460	3,42%