

Onderzoek aan spuitdoppen voor het HTA DriftControlPlus systeem met verlaagde spuitboom voor classificatie op basis van driftgevoeligheid

H.J. Holterman, J.C. van de Zande



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Onderzoek aan spuitdoppen voor het HTA DriftControlPlus systeem met verlaagde spuitboom voor classificatie op basis van driftgevoeligheid

H.J. Holterman, J.C. van de Zande

Dit onderzoek is in opdracht van Agrifac Machinery BV uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Agrosysteemkunde, onder projectnummer 3710.469600.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, november 2020

Rapport WPR-1022

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/533345>

Bij het HTA DriftControlPlus systeem van Agrifac met de lucht-vloeistofdoppen HTA 10/39 TKSS4 zijn door variatie van vloeistofdruk en luchtdruk de druppelgrootteverdeling en vloeistofafgifte min of meer onafhankelijk van elkaar in te stellen. In deze studie is een groot aantal drukcombinaties door meting en simulaties onderzocht wat betreft driftdepositie en driftreducties op een standaardsloot, bij een volvelds bespuiting met een spuitboomhoogte van 0,30 m en dopafstand van 0,25 m en een 8° gekantelde HTA-dop zonder lucht als randmodus-dop voor de perceelrandbespuiting gebruikt. Uit de verscheidenheid aan drukcombinaties en de daarbij berekende driftreducties ten opzichte van een referentiebespuiting op een standaardsloot, is een modelmatig verband afgeleid waarmee te bepalen is welke combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk toegepast kunnen worden om driftreducties van 75%, 90% en 95% te verkrijgen. Voor een driftreductie van 75% en 90% is de maximale vloeistofdruk 600 kPa. Voor een driftreductie van 95% is de maximale vloeistofdruk 400 kPa.

Trefwoorden: spuitdop, lucht-vloeistof mengdop, twin-fluid, HTA, driftreductie

© 2020 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

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

Rapport WPR-1022

Foto omslag: H.J. Holterman

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
	Summary	9
1	Inleiding	11
2	Materiaal en methoden	12
	2.1 Selectie van drukcombinaties	13
	2.2 Meetmethodiek druppelgrootte	13
	2.3 Modelberekeningen	15
	2.4 Indeling in driftreductieklassen	16
3	Meetresultaten	17
	3.1 Spuitbordmetingen	17
	3.2 Vloeistofafgifte	18
	3.3 Druppelgroottespectrum	18
	3.4 Modelberekeningen IDEFICS	19
4	Discussie	23
5	Conclusie	24
	Literatuur	25
	Bijlage 1 Overzicht metingen van druppelgroottes	26
	Bijlage 2 Overzicht aanvullende metingen van druppelgroottes	30

Woord vooraf

Dit onderzoek naar de driftreducerende eigenschappen van spuitdoppen volgens het lucht-vloeistof mengsysteem HTA DriftControlPlus is uitgevoerd in nauwe samenwerking met dhr. Melle van der Molen en dhr. Doeko Blaauw van Agrifac Machinery BV. Al doende heeft deze samenwerking geleid tot aanpassingen in de meetopdracht waarvan dit rapport het uiteindelijke resultaat is geworden. Geen 'gewoon' meetrapport, maar een rapport met perspectief op verder toepassingen en mogelijkheden.

Samenvatting

Bij het HTA DriftControlPlus systeem van Agrifac met de lucht-vloeistofdoppen HTA 10/39 TKSS4 zijn door variatie van vloeistofdruk en luchtdruk de druppelgrootteverdeling en vloeistofafgifte min of meer onafhankelijk van elkaar in te stellen. In deze studie is een groot aantal drukcombinaties door meting en simulaties onderzocht wat betreft driftdepositie en driftreducties op een standaardsloot, bij een volvelds bespuiting met een spuitboomhoogte van 0,30 m en dopafstand van 0,25 m en een 8° gekantelde HTA-dop zonder lucht als randmodus-dop op de perceelrand gebruikt. Uit de verscheidenheid aan drukcombinaties en de daarbij berekende driftreducties ten opzichte van een referentiebespuiting op een standaardsloot, is een modelmatig verband afgeleid waarmee te bepalen is welke combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk toegepast kunnen worden om driftreducties van 75%, 90% en 95% te verkrijgen. Voor een driftreductie van 75% en 90% is de maximale vloeistofdruk 600 kPa. Voor een driftreductie van 95% is de maximale vloeistofdruk 400 kPa.

Summary

With Agrifac's new HTA DriftControlPlus system using air-liquid spray nozzles HTA 10/39 TKSS4, the drop size distribution of the spray and the flow rate can be controlled independently. In this study a number of air-liquid pressure combinations has been investigated by measuring spray distributions, drop size distributions and simulating downwind spray drift deposits. The spray drift reductions on a standardized ditch were determined for field applications with a boom height of 0,30 m and nozzle distance of 0,25 m along the sprayer boom. An HTA nozzle without air inlet and rotated by 8°, was used as an end nozzle. The large number of air-liquid combinations and their resulting drift reductions were used to derive a generic model to determine appropriate combinations of air pressure and liquid pressure to obtain drift reduction levels of 75%, 90% and 95%. The maximum liquid pressure at drift reduction levels 75% and 90% is 600 kPa. At drift reduction level 95% the maximum liquid pressure is 400 kPa.

1 Inleiding

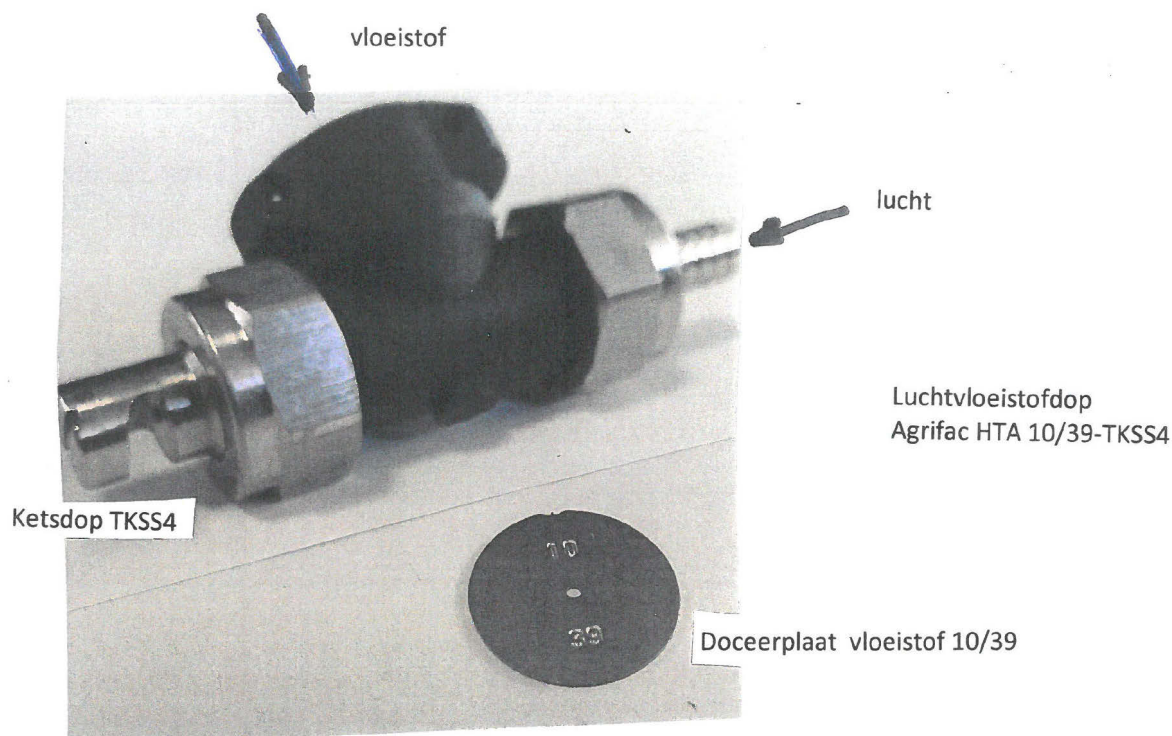
Het Activiteitenbesluit Milieubeheer (I&M, 2012, 2017a) bepaalt dat bij bespuitingen van een gewas met veldspuitapparatuur het gehele veld bespoten moet worden met een 75% driftreducerende techniek (DRT75). Bijvoorbeeld een standaard veldspuit uitgerust met 75% driftreducerende doppen (DRD75). In de "Beoordelingssystematiek emissiereducerende maatregelen open teelt" (TCT, 2017) en de daarin beschreven testmethode "Meetprotocol vaststellen driftreductie spuitdoppen-versie 1 juli 2017" (I&M, 2017b) worden de eisen beschreven waaraan de spectra van spuitdoppen moeten voldoen om als driftarm te worden aangemerkt. Ook is hierin de toe te passen meetmethode vastgelegd. Driftarme doppen kunnen onderling behoorlijk verschillen in werkelijke driftreductie. Door de Technische Commissie Techniekbeoordeling (TCT, 2019) worden spuitdop-druk combinaties daarom ingedeeld in driftreductieklassen (DRD50, DRD75, DRD90, DRD95) voor gebruik in de verschillende driftreducerende technieken (DRT) en ter bepaling van de teeltvrije zone bij intensief gespoten gewassen.

Dit onderzoek omvat de lucht-vloeistofdoppen van het type Agrifac HTA 10/39-TKSS4. Voor een groot aantal combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk is de vloeistofverdeling gemeten op een spuitbord (ISO5682-1, 2014; ISO5682-2; 2017). Volgens ISO 16119-2, 2013 moet de variatiecoëfficiënt van deze vloeistofverdeling kleiner dan 7% bedragen; ISO 16122-2, 2015 noemt een variatiecoëfficiënt kleiner dan 10%, overeenkomstig het TCT-DRD protocol (I&M, 2017b). Gemeten verdelingen die een variatiecoëfficiënt kleiner dan 9% opleverden, zijn verder uitgewerkt in druppelgroottemetingen. De resulterende druppelgroottespectra zijn gebruikt in berekeningen met het driftmodel IDEFICS (Holterman *et al.*, 1997) om de drift te bepalen naar het wateroppervlak van een standaardsloot. Daarbij was de spuitboomhoogte 30 cm boven het gewas terwijl de afstand tussen de spuitdoppen 25 cm bedroeg. Aan de hand van de daaruit voortvloeiende driftreductie ten opzichte van een referentiebespuiting zijn de lucht-vloeistofdoppen voor de diverse vloeistofdruk-luchtdrukcombinaties ingedeeld naar driftreductieklassen 75, 90 en 95%, analoog aan de methode beschreven door Porskamp *et al.* (1999), ISO22369 (2006) en het meetprotocol voor de bepaling en de classificatie van de driftreductie van spuitdoppen (I&M, 2017b). Tevens is het verband onderzocht tussen de verschillende drukcombinaties en driftreducties, om zo tot een meer generiek model te komen voor verdere toepassingen in het HTA DriftControlPlus systeem.

2 Materiaal en methoden

Van het dootype Agrifac HTA 10/39 TKSS4 (kortweg HTA-doppen; Figuur 1) werden het druppelgroottespectrum en de druppelsnelheden bepaald met behulp van de optische methode phase-doppler anemometrie (PDA), bij geselecteerde combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk. Ook het druppelgroottespectrum van de grensdop Fijn/Midden (F/M; Lurmark 31-03-F110 bij een spuitdruk van 300 kPa) van de klassenindeling volgens de British Crop Protection Council (BCPC, Southcombe *et al.*, 1997) is op soortgelijke wijze gemeten; deze referentiedop wordt verder aangeduid als BCPC F/M. Als spuitvloeistof werd leidingwater toegepast. De resulterende spectra werden gebruikt in het simulatiemodel IDEFICS (versie 0.434; Holterman *et al.*, 1997) om de verwachte drift naar een standaardsloot te berekenen voor een gestandaardiseerde volvelds bespuiting. De evaluatiestrook voor driftdepositie komt overeen met de positie van het wateroppervlak; dit is 1,625-2,625 m vanaf de gewasrand. De simulaties met de onderzochte dooptypen betrof een spuitboomhoogte van 0,30 m boven het gewas en een dopafstand van 0,25 m. Voor een goed aansluiting van het spuitbeeld voor verschillende spuitgangen, is de strook tussen spuitgangen in principe 0,25 m smaller dan voor een standaardbespuiting met dopafstand 0,50 m. Hieruit is af te leiden dat in de eerste spuitgang de buitenste spuitdop de helft hiervan, dus 0,125 m, dichterbij de gewasrand geplaatst moet zijn dan de buitenste dop bij een standaardbespuiting. Voor de referentiesituatie (BCPC F/M) bevindt de eerste spuitdop zich 0,50 m binnen de gewasrand, zodat de evaluatiestrook 2,125-3,125 m vanaf deze dop ligt (zie ook Figuur 4). Voor de geteste situaties met dopafstand 0,25 m bevindt de eerste dop zich op 0,375 m binnen de gewasrand; de evaluatiestrook ligt dan op 2,000-3,000 m vanaf de buitenste dop (zie ook Figuur 5).

Driftdepositie wordt uitgedrukt als percentage van de uitgebrachte dosering per oppervlakte-eenheid. Aan de hand van de berekende drift van de BCPC F/M referentiedop en de geteste drukcombinaties met de HTA-doppen werden de combinaties beoordeeld naar het systeem van driftreductieklassen (volgens ISO22369 t.o.v. de BCPC F/M grensdop) volgens het classificatiesysteem van de TCT (TCT, 2017).



Figuur 1 Doptype Agrifac HTA 10/39 TKSS4 met lucht- en vloeistofaansluiting. Doceerplaatje komt bovenin de aansluiting voor de vloeistof (Bron: Agrifac).

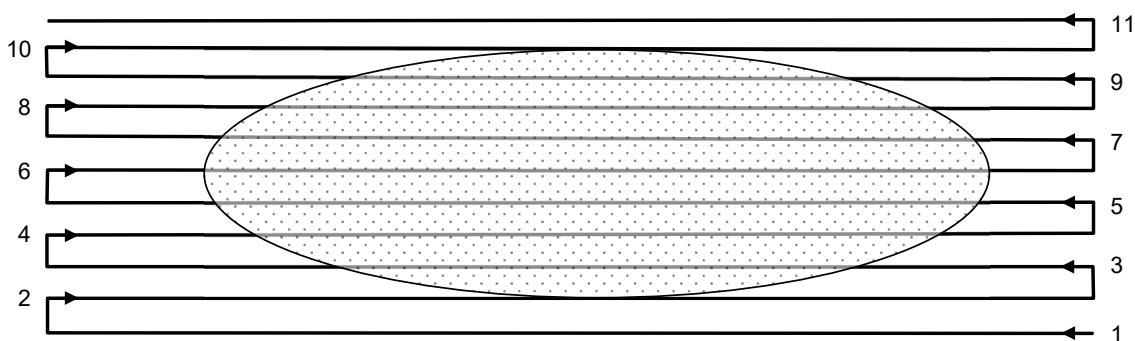
2.1 Selectie van drukcombinaties

Op het spuitbord zijn 10 HTA-doppen op onderlinge afstand van 0,25 m geplaatst. De vloeistofverdeling is bepaald bij diverse combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk. Het spuitbord had gootjes van 0,025 m breed. Voor de bepaling van de variatiecoëfficiënt (VC) zijn steeds 4 gootjes samengenomen om een effectieve gootbreedte van 0,10 m te verkrijgen. Vervolgens is de VC berekend over een breedte van 1,00 m uit het midden van de verdeling. Alleen de combinaties die een variatiecoëfficiënt (VC) van minder dan 10% opleverden, zijn verder uitgewerkt in deze studie om uiteindelijk drift en driftreducties te bepalen voor een volvelds bespuiting.

2.2 Meetmethodiek druppelgrootte

Van 10 exemplaren van de HTA-doppen is de vloeistofafgifte bepaald bij een bepaalde vloeistof- en luchtdruk. Uit deze waarden is de mediaan bepaald om vervolgens de 3 doppen te kunnen selecteren, waarvan de afgifte het dichtst bij de mediaan lag. Van de geselecteerde 3 doppen werden vervolgens het druppelgroottespectrum en druppelsnelheden bepaald met een Phase Doppler Particle Analyzer (PDPA, TSI). De spuitvloeistof hierbij is leidingwater van 20°C. Voor de HTA-doppen werd tevens perslucht gebruikt, dat door middel van een manuele regelaar op de juiste druk kon worden gebracht. De meetruimte werd ingesteld op een temperatuur van 20°C en een relatieve luchtvochtigheid van 70%.

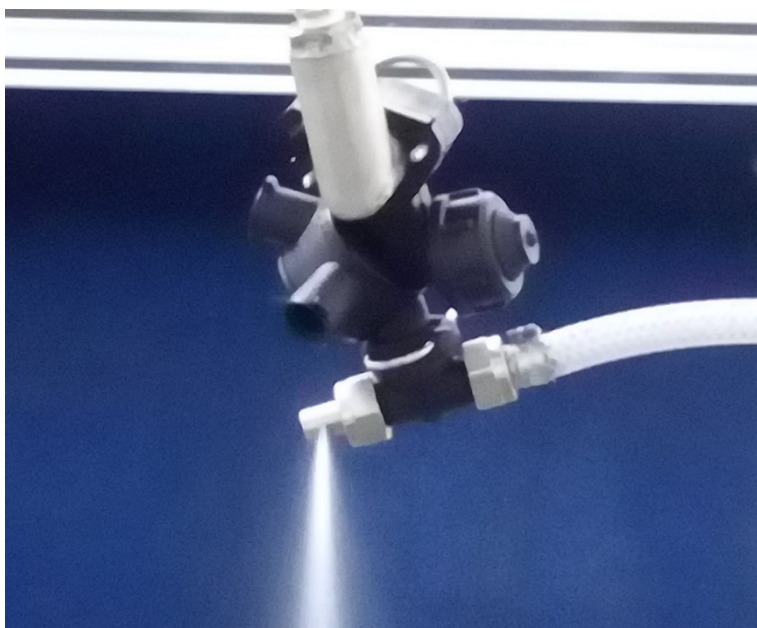
Bij de metingen van het druppelgroottespectrum beschreef de doppositie een patroon van 11 parallelle banen (Figuur 2). De lengte van de banen en hun onderlinge afstand werden per situatie zodanig ingesteld, dat het banenpatroon het totale spuitpatroon goed afdekte. De snelheid waarmee het banenpatroon werd doorlopen, werd daarbij zodanig afgesteld, dat ten minste 10000 druppels per meting werden gemeten. Voor de HTA-doppen was de dophoogte 30 cm boven het meetvlak; voor de BCPC F/M referentiedop was de hoogte 0,35 m. Volgens het TCT meetprotocol voor spuitdoppen moeten alle doppen op gelijke hoogte gemeten worden (I&M, 2017b). Dit bleek door de verlengde constructie van de dophouder van de HTA-doppen moeilijk te realiseren (zie ook Figuur 3). Overigens schrijft het meetprotocol voor dat dophoogtes mogen liggen tussen 0,30 en 0,50 m, omdat dit geen significante invloed op het druppelgroottespectrum heeft. Er is daarom geen reden te veronderstellen dat de druppelgroottemetingen van de HTA-doppen op 0,30 m dophoogte significant verschillen van metingen die op 0,35 m zouden zijn uitgevoerd. De meethoogte boven de vloer bedroeg 0,70 m. De HTA-doppen zijn in feite ketsdoppen (TKSS4), waarvoor de 'flat-fan' spuitkegel gewoonlijk niet verticaal naar beneden gericht is, maar over een kleine hoek ('tilthoek') naar achteren gericht is. Daarom werd de dophouder gekanteld, zodat de spuitkegel verticaal was gericht gedurende de metingen met de PDPA (Figuur 3). Zowel de tophoek van de spuitkegel als de tilthoek werd voor elke dop bij elke drukcombinatie geometrisch bepaald.



Figuur 2 *Patroon van de banen voor het scannen van de druppelgrootteverdeling in een horizontaal vlak 0,50 m onder een spuitkegel van een spleetdop. De baanlengte en de onderlinge baanafstand werden aangepast aan de spuitpatronen van de te meten doppen. Baan 6 is de middelste baan loodrecht onder de dop.*

Voor geselecteerde combinaties van vloeistof- en luchtdruk werd van elk van de drie doppen de druppelgroottebepaling in drievoud uitgevoerd. Daarnaast zijn voor enkele tussenliggende combinaties aanvullende metingen uitgevoerd, om een beter beeld te krijgen van het generieke verband tussen vloeistof- en luchtdruk en driftreductie. Deze extra combinaties zijn niet volledig bemeten, maar van elk van de drie geselecteerde doppen is slechts 1 meting gedaan voor de druppelgrootteverdeling.

Er is besloten de HTA-doppen ook als randmodus-dop op het einde van de spuitboom voor de bespuiting van de perceelrand te gebruiken. In dat geval wordt de luchtdruk op 0 ingesteld, om een zo grof mogelijk spuitbeeld te verkrijgen. Hiertoe werd de luchtinlaat afgesloten door een kort stukje slang te monteren op de inlaat en het andere einde van de slang dicht te knijpen met een slangklem. De metingen van de HTA als randmodus-dop omvatten de geselecteerde 3 doppen die elk in tweevoud gemeten werden. Verder is voor de randmodus-dop van belang hoe de spuitvloeistof binnen de spuitkegel verdeeld is. Daartoe werden aanvullende scanmetingen gedaan, zoals boven beschreven, maar bij een dophoogte van slechts 0,15 m.



Figuur 3 Agrifac HTA 10/39 TKSS4 werd bij de druppelgroottemetingen onder een hoek geplaatst om de spuitnevel verticaal naar beneden te richten.

Voor de bepaling van het snelheidsverloop van druppels in de spuitkegel, zijn afzonderlijke metingen uitgevoerd met de PDPA. De puntmetingen zijn uitgevoerd in het centrum van elke spuitkegel op 4, 6, 9, 12, 15, 20, 25 en 30 cm midden onder de dop. De meetresultaten bestonden uit de verticale snelheid en de diameter van elke gedetecteerde druppel. Hieruit werd de gemiddelde druppelsnelheid afgeleid als functie van druppelgrootte en afstand onder de dop. Deze resultaten werden vervolgens gebruikt om voor het IDEFICS driftmodel de entrainment te bepalen (de luchtstromingen in de spuitkegel) en de beginsnelheid van druppels bij het verlaten van de spuitdop.

De PDPA was tijdens de metingen als volgt ingesteld:

- Laservermogen in meetpunt 25 mW
- Focus frontlens transmitter 1000 mm
- Focus frontlens detector 1000 mm
- Expander/contractor contractor
- Detectiehoek 40°
- Detectorspanning 540 V
- Signaaldrempel 50 mV
- Meetbereik 5 - 1250 μm
- Diameter resolutie 2,4 μm
- Probe Volume Correction ja

Het laservermogen werd vooraf aan elke meting gecontroleerd en zo nodig bijgesteld. Ook de inkoppeling van de laserstralen in de glasvezels in de zogenaamde 'fiber-drive' werd voorafgaande aan elke meting gecontroleerd. Deze mechanische koppeling is zeer gevoelig voor temperatuurveranderingen en trillingen. Daarbij was steeds het nuttig laservermogen ter plaatse van de feitelijke meting leidend: dit vermogen werd constant gehouden op de genoemde waarde van 25 mW.

De resultaten van de druppelgroottemetingen worden gepresenteerd als de D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , V_{100} en v_{gem} . Hieronder volgt een korte toelichting op deze begrippen:

- D_{V10} [μm]; 10% van het volume bestaat uit druppels die een diameter hebben die kleiner is dan de waarde van D_{V10} ;
- D_{V50} [μm] = VMD [μm] (Volume Median Diameter); 50% van het volume bestaat uit druppels die een diameter hebben die kleiner is dan de waarde van D_{V50} ;
- D_{V90} [μm]; 90% van het volume bestaat uit druppels die een diameter hebben die kleiner is dan de waarde van D_{V90} ;
- V_{100} [%]; volumepercentage van druppels met een diameter kleiner dan 100 μm ;
- v_{gem} [m/s]; gemiddelde snelheid van alle gemeten druppels.

2.3 Modelberekeningen

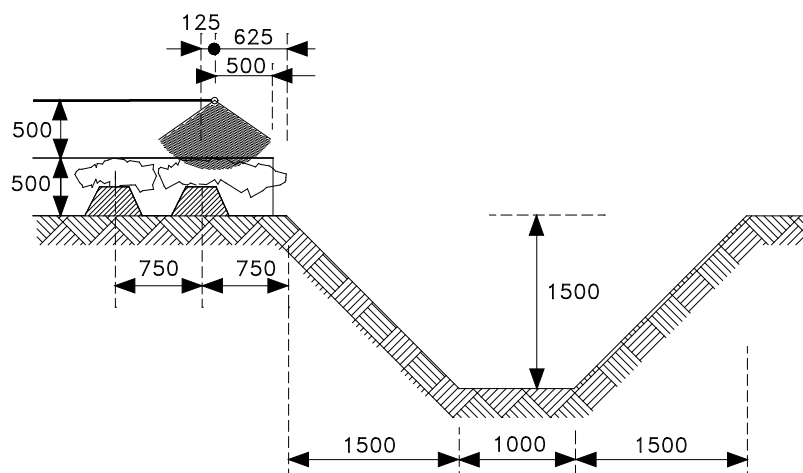
De resultaten van de metingen van de druppelgrootteverdeling en de druppelsnelheden werden als invoer in het driftmodel IDEFICS-win (versie 0.434; maart 2020) gebruikt. Voor de modelberekeningen met de HTA-doppen werd van de volgende veronderstellingen uitgegaan (er is daarbij aangegeven waar dat verschilt met de referentiesituatie met BCPC F/M doppen):

- afstand tussen doppen aan de spuitboom: 25 cm (voor BCPC F/M: dopafstand 50 cm);
- plaats van de laatste spuitdop 37,5 cm binnen het gewas * (voor BCPC F/M: 50 cm);
- een gewashoogte van 50 cm;
- spuitboomhoogte 30 cm boven het gewas (voor BCPC F/M: 50 cm);
- rijnsnelheid 1,67 m/s (= 6,0 km/u);
- rijrichting evenwijdig aan de gewasrand;
- windrichting loodrecht op de gewasrand van het gewas af gericht;
- windsnelheid 3 m/s (op 2 m hoogte);
- relatieve luchtvochtigheid 60%;
- luchttemperatuur 15°C;
- stabiliteit van de atmosfeer neutraal (geen thermiek).

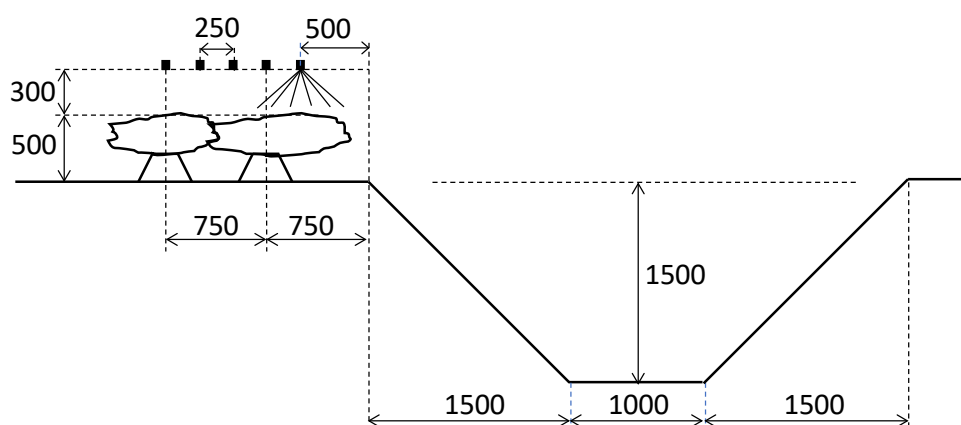
* De uitgangssituatie was een gewas aardappelen met de laatste rug op 75 cm van de insteek van de sloot, bij een dopafstand van 50 cm staat de buitenste spuitdop op 12,5 cm buiten het midden van de laatste rug; gewasontwikkeling tot de insteek. Bij de berekeningen met IDEFICS is ter correctie van een aflopende gewasrand de afstand van de laatste dop tot de gewasrand afgerond op 50 cm (zie Figuur 4). Voor de HTA-doppen, met dopafstand 25 cm, bevindt de buitenste dop zich op 25 cm buiten het midden van de laatste rug, dus op 37,5 cm vanaf de gewasrand.

De volvelds simulaties zijn in vijfvoud uitgevoerd, met 30.000 druppels per dop, voor 14 doppen verdeeld over een spuitbreedte van 50 m. Door middel van interpolatie en extrapolatie voor niet gesimuleerde doppen is een simulatie van een volvelds bespuiting mogelijk. Ook de simulaties met de referentiedop zijn in vijfvoud uitgevoerd. Bij de HTA-doppen is een achterwaartse tilhoek ingesteld zoals voor de betreffende vloeistof-luchtdruk combinatie werd gemeten.

De resultaten van de modelberekeningen gaven de depositiewaarden op aaneensluitende strookjes van 25 cm, gerekend vanaf de gewasrand. Deze resultaten werden bewerkt tot gemiddelde deposities op de strook 2,125-3,125 m vanaf de laatste spuitdop. Dit is de strook waarvoor bij de gekozen uitgangssituatie voor aardappelen het wateroppervlak van de sloot ligt (Huijsmans *et al.*, 1997).



Figuur 4 Overzicht van de situatie voor de modelberekeningen bij een gewas aardappelen (afmetingen in mm).



Figuur 5 Overzicht van de situatie voor de modelberekeningen bij een gewas aardappelen voor de situatie met verlaagde spuitboom en dopafstand 250 mm (afmetingen in mm).

2.4 Indeling in driftreductieklassen

De driftreductie is berekend analoog aan de methode van Porskamp *et al.* (1999) ten opzichte van een referentiedop BCPC F/M en zoals weergegeven in het meetprotocol (I&M, 2017b). Het referentiespectrum is op dezelfde dagen gemeten als waarop de druppelgroottemetingen van de onderzochte HTA-doppen zijn uitgevoerd.

Er is enige statistische spreiding te verwachten in zowel het gemiddelde druppelgroottespectrum (wat gevolgen heeft voor de berekende drift) als in de resultaten van de driftberekeningen op zich. De daaruit voortvloeiende variatiecoëfficiënt blijkt minder dan 3% te zijn. Bij de indeling van dop-drukcombinaties in driftreductieklassen is hiermee in deze rapportage geen rekening gehouden. Analoog aan de klassenindelingen in Duitsland (Ganzelmeier en Rautmann, 2000) en Engeland (Gilbert, 2000) en de beoordeling van resultaten van veldproeven (ISO-22369, 2006; I&M, 2017c) is uitgegaan van de absolute waarden 50, 75, 90 en 95% voor het vastleggen van de grenzen van de reductieklassen.

3 Meetresultaten

3.1 Spuitbordmetingen

Op het spuitbord zijn de verdelingspatronen gemeten van 10 HTA-doppen met dopafstand 0,25 m en boomhoogte 0,30 m voor verschillende combinaties van vloeistof- en luchtdruk. Het spuitbord had gootjes van 2,5 cm breed. Voor de bepaling van de variatiecoëfficiënt (VC) zijn steeds 4 gootjes samengenomen om een effectieve gootbreedte van 10 cm te verkrijgen. De VC is berekend over een lengte van 1,00 m uit het midden van de vloeistofverdeling. De resultaten staan in Tabel 1.

Tijdens de metingen van de druppelspectra en de daaropvolgende simulaties met IDEFICS kwam naar voren dat andere combinaties van vloeistof- en luchtdruk mogelijk interessanter zouden kunnen zijn. Dat wil zeggen, in de zin dat een beter beeld van het effect van luchtdruk op drift en driftreductie gegeven zou kunnen worden, of dat de te verwachten driftreductie dichter bij een van de klassegrenzen (75%, 90%, 95%) zou kunnen komen te liggen. Deze nieuwe combinaties zijn later toegevoegd en hun verdeling en VC is niet op het spuitbord bepaald; ze hebben dan de aanduiding '-' in de VC-kolom in Tabel 1. Overigens blijkt uit deze tabel dat de trend is dat naarmate de luchtdruk hoger is (bij een bepaalde vloeistofdruk), de VC afneemt tot een constante waarde van ca. 5%. Het is daarom aannemelijk dat de niet bepaalde VC's alle ruim onder de norm van 10% vallen.

Uiteindelijk is een selectie gemaakt van drukcombinaties waarvoor druppelspectra en driftsimulaties zijn gedaan. Dit is in de laatste kolom van Tabel 1 aangegeven; zie verder in paragraaf 3.3.

Tabel 1 Geselecteerde combinaties van vloeistof- en luchtdruk voor HTA-doppen in deze studie.

Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]	VC [%] ¹	Metingen druppelgrootte ²
200	20	18	
	30	8.2	X
	35	6.4	X
	40	5.3	
	50	-	X
	60	4.8	O
	80	-	O
	90	-	X
	100	5.2	
400	40	12	
	45	9.6	X
	50	7.2	
	55	6.9	X
	60	4.6	O
	80	4.4	X
	100	4.2	O
	120	4.7	O
	140	-	X
600	60	17	
	80	15	
	90	4.8	X
	100	5.8	X
	120	3.9	O
	150	-	O
	200	-	X

¹ indien VC niet gemeten werd, staat '-' aangeduid; zie tekst.

² druppelgroottemetingen: X: volledig (3 doppen, 3 herhalingen); O: indicatie (3doppen elk 1x gemeten).

3.2 Vloeistofafgifte

Tien HTA-doppen werden genummerd en voor elk van deze doppen werd vervolgens de vloeistofafgifte gemeten bij vloeistofdruk van 300 kPa en een luchtdruk van 60 kPa. De drie doppen met een afgifte het dichtst bij de mediaan werden geselecteerd voor de druppelgrootte spectrum metingen met de PDPA. De gemeten afgifte, mediaan en nummers van de drie geselecteerde doppen staan vermeld in Tabel 2. Afwijking in afgifte ten opzichte van de mediaan is een eigenschap van de individuele doppen en zal dus niet afhangen van welke drukken precies zijn ingesteld. Ter controle zijn ook afgiftemetingen gedaan bij 300 kPa vloeistofdruk en 100 kPa luchtdruk, en bij 350 kPa vloeistofdruk en 110 kPa luchtdruk. Uit deze drie bepalingen kwamen doppen 1, 4 en 8 naar voren als de doppen die het dichtst bij de mediaan kwamen wat betreft hun afgifte.

Tabel 2 Afgiftemetingen voor 10 HTA-doppen bij verschillende vloeistof- en luchtdrukken. In de laatste twee kolommen zijn de bijbehorende mediaan en de nummers van de drie geselecteerde doppen, waarvan de afgifte het dichtst bij de mediaan ligt, gegeven.

Water druk	Lucht- druk	Dopnummers en afgifte [l/min]										mediaan	gekozen doppen
kPa	kPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	[l/min]	
300	60	667.8	689.5	652.7	676.2	689.0	687.6	653.7	671.0	657.9	647.6	669.4	1, 4, 8
300	100	599.7	616.9	590.3	607.1	613.6	624.6	595.8	607.0	595.0	594.2	603.3	1, 4, 8
350	110	676.6	695.1	662.7	683.0	699.6	697.8	665.1	674.1	663.6	666.3	675.3	1, 4, 8

3.3 Druppelgroottespectrum

In Tabel 3 is het gemiddelde van de karakteristieke grootheden voor de HTA-doppen bij verschillende combinaties van vloeistof- en luchtdruk samengevat, zoals bepaald met de PDPA. De bijbehorende metingen van de BCPC F/M referentiedop zijn ook in deze tabel opgenomen. Voor de combinaties gemarkeerd met 'X' in Tabel 1 (zie paragraaf 3.1) werd van elk van de drie doppen de druppelgroottebepaling in drievoud uitgevoerd. Om een beter beeld te krijgen van het verband tussen vloeistofdruk, luchtdruk en driftreductie, zijn extra combinaties gemeten, gemarkeerd met 'O' in Tabel 1. Deze combinaties zijn niet volledig uitgevoerd, maar van elk van de drie geselecteerde doppen is slechts 1 meting gedaan voor de druppelgrootteverdeling. De meetwaarden van de individuele metingen staan in Bijlage 1 (BCPC F/M en geselecteerde combinaties) en Bijlage 2 (extra combinaties).

Er is voor de bespuiting van de perceelrand besloten de HTA-doppen ook als randmodus-dop te plaatsen op het einde van de spuitboom, waarbij de luchtdruk op 0 ingesteld zou worden, om een zo grof mogelijk spuitbeeld te verkrijgen. De metingen hiervoor omvatten 3 doppen elk in tweevoud gemeten. De gemiddelde karakteristieken hiervan zijn ook in Tabel 3 opgenomen. De individuele metingen staan in Bijlage 2 vermeld.

Bij 200 kPa waterdruk zonder luchtdruk, was het gemiddelde aantal druppels per meting slechts 3100. Deze combinatie van waterdruk en luchtdruk produceerde zo weinig druppels, dat het niet mogelijk was binnen acceptabele meettijd een aantal van 10000 druppels te verkrijgen. Echter, omdat deze dopdrukcombinatie alleen op de buitenste doppositie gebruikt wordt en niet voor de hele spuitboom, is het effect van een licht verhoogde onnauwkeurigheid op het totale driftbeeld zeer gering. Daarbij is de V_{100} (die in hoge mate bepalend is voor de hoogte van driftdepositie) van deze dopdrukcombinatie zeer laag (0,06%). Een licht verhoogde relatieve fout zal daarom niet leiden tot een significant verhoogde absolute fout in driftdeposities.

Tabel 3 Samenvatting van de karakteristieke grootheden van het druppelgroottespectrum, gemiddelde druppelsnelheid en aantal gemeten druppels voor de HTA-doppen bij verschillende combinaties van vloeistof- en luchtdruk en voor de BCPC F/M. Gemeten met PDPA.

Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]	D _{v10} [μm]	D _{v50} [μm]	D _{v90} [μm]	V ₁₀₀ [%]	V _{gem} [m/s]	Tophoek [°]	Tilthoek [°]	Gem. aantal druppels
BCPC F/M:									
300	-	116	219	357	6.40	3.50	110	0	38900
HTA 10/39 TKSS4:									
200	30	316	690	1203	0.40	1.47	104	11	10600
	35	285	614	1106	0.52	1.56	107	10	14100
	50	220	485	890	0.93	1.78	112	10	14900
	60	184	422	768	1.48	1.90	110	10	13300
	80	150	342	664	2.75	2.08	105	10	21000
	90	136	307	577	4.00	2.14	104	9	26500
	0	625	1131	1560	0.06	1.55	90	14	3100
400	45	339	740	1227	0.27	1.97	105	10	13600
	55	279	613	1071	0.44	1.98	109	10	22700
	60	267	577	1001	0.52	2.03	112	10	10100
	80	205	440	808	0.97	2.28	114	9	28300
	100	176	378	683	1.60	2.56	114	9	14300
	120	151	324	588	2.66	2.69	112	10	19500
	140	139	297	540	3.56	2.83	106	9	25000
	0	383	848	1393	0.28	1.69	102	12	13500
600	90	235	498	880	0.63	2.52	110	11	22400
	100	210	443	804	0.92	2.63	114	12	26800
	120	179	381	693	1.45	2.75	117	8	17800
	150	153	322	572	2.46	3.00	115	8	24800
	200	128	267	494	4.63	3.34	107	8	27200
	0	262	646	1263	0.75	1.74	110	11	25600

3.4 Modelberekeningen IDEFICS

Met het driftmodel IDEFICS zijn volvelds berekeningen uitgevoerd voor de gekozen situaties van vloeistof- en luchtdrukcombinaties. Bij een boom die volledig is uitgerust met gelijk doppen (met dopafstand 0,25 m), zal de buitenste dop zich op 0,375 m vanaf de gewasrand bevinden (zie paragraaf 2.3). In de gekozen situatie met een randmodus-dop werden in de simulaties de twee buitenste doppen (dop 1 en 2) dicht gezet, waarbij de HTA-randmodus-dop geplaatst werd tussen deze twee buitenste doppen in op 0,10 m vanaf dop 1 en dus 0,15 m vanaf dop 2. De HTA-randmodus-dop had dezelfde vloeistofdruk als de overige doppen aan de spuitboom, maar dan zonder luchtdruk. De randmodus-dop werd 8° gekanteld van de gewasrand af.

De simulaties zijn in vijfvoud uitgevoerd, waarna hiervoor het gemiddelde en de standaarddeviatie van de driftdepositie op de evaluatiestrook werd bepaald. Deze waarden staan in Tabel 4 vermeld. De kolom driftverhouding geeft de verhouding luchtdruk/vloeistofdruk aan. De gemiddelde driftreductie op die strook is bepaald ten opzichte van de driftdepositie voor een referentiebespuiting met BCPC-F/M doppen. Ten slotte is de indeling in driftreductieklassen op grond van deze driftreducties in de tabel opgenomen. De standaarddeviaties in de simulaties zijn erg klein, waarmee de toevallige fout in de driftreducties ook klein is; 0,1% voor de hoogste driftreducties, oplopend tot 0,8% voor de laagste driftreducties in de tabel.

Tabel 4 Berekende driftdepositie en driftreducties op de strook 2,000-3,000 vanaf de laatste spuitdop¹ voor de HTA-doppen bij verschillende combinaties van vloeistof- en luchtdruk en voor de BCPC F/M; met bijbehorende indeling driftreductieklassen.

Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa] ²	Druk- verhouding	Drift [%dosering]	Stand.Dev. [%dosering]	Reductie [%]	Driftreductieklasse		
BCPC F/M:						75%	90%	95%
300	-		2.534 ³	0.058	-			
HTA 10/39 TKSS4:								
200	30	0.15	0.116	0.003	95.4			X
	35	0.18	0.148	0.004	94.2		X	
	50	0.25	0.248	0.005	90.2		X	
	60 *	0.30	0.338	0.006	86.7	X		
	80 *	0.40	0.502	0.017	80.2	X		
	90	0.45	0.655	0.015	74.2			
400	45	0.11	0.094	0.002	96.3			X
	55	0.14	0.140	0.004	94.5		X	
	60 *	0.15	0.157	0.003	93.8		X	
	80	0.20	0.250	0.009	90.1		X	
	100 *	0.25	0.343	0.007	86.5	X		
	120 *	0.30	0.479	0.014	81.1	X		
	140	0.35	0.567	0.016	77.6	X		
600	90	0.15	0.189	0.005	92.5		X	
	100	0.17	0.251	0.012	90.1		X	
	120 *	0.20	0.341	0.006	86.6	X		
	150 *	0.25	0.457	0.015	81.9	X		
	200	0.33	0.687	0.011	72.9			

1 indien de spuitboom volledig met gelijk doppen zou zijn uitgevoerd (zonder kantdop), bij dopafstand 0,25.

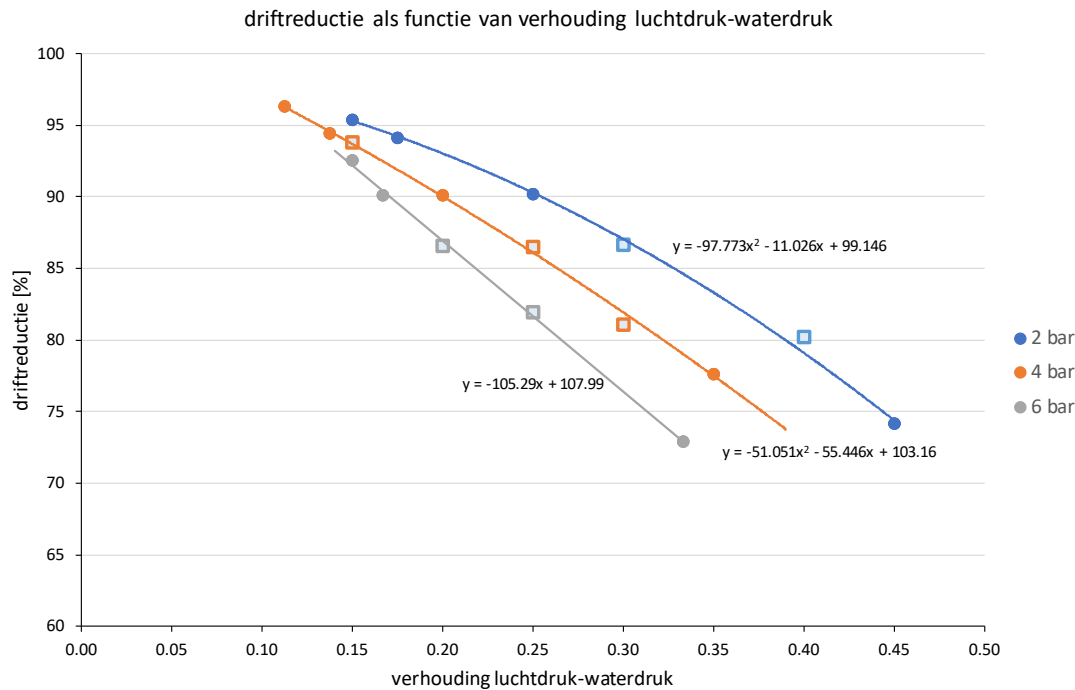
2 de extra combinaties zijn met een * gemarkeerd, ze wegen minder zwaar mee in de bepaling van de curves van Figuur 6.

3 in de referentiesituatie (BCPC F/M) bij 0,50 m dopafstand ligt de evaluatiestrook 2,125-3,125 vanaf de buitenste dop, omdat de buitenste dop 0,125 m verder windopwaarts geplaatst is.

De driftreducties uit Tabel 4 zijn in een grafiek uitgezet tegen de drukverhouding, Figuur 6. De open vierkante symbolen zijn de extra combinaties, waarvoor minder metingen (3 in plaats van 9) zijn gedaan van de druppelgroottes. De getrokken lijnen zijn gefit op alle punten, maar de extra combinaties tellen daarbij maar voor 1/3 mee, overeenkomstig de verhouding van het aantal metingen van de druppelgrootteverdelingen. Voor de simulaties bij 600 kPa vloeistofdruk paste een lineair verband uitstekend. Bij 200 en 400 kPa werd gefit met een kwadratische vergelijking. De wiskundige vergelijkingen zijn aan de grafiek toegevoegd.

Op basis van de gefitte curves zijn de exacte drukverhoudingen bepaald waarvoor de klassengrenzen 75%, 90% en 95% worden gekruist. Deze waarden en de daaruit bepaalde absolute luchtdrukken staan in Tabel 5. Dus voor de in Tabel 5 genoemde combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk bereikt de driftreductie precies een van die klassengrenzen, voor een bespuiting met HTA-doppen bij genoemde drukken en een HTA-randmodus-dop, met verder de boomhoogte en dopposities zoals eerder vermeld. Weliswaar is ook voor de lineaire curve bij 600 kPa zo'n drukcombinatie te bepalen voor het 95% kruispunt, maar de ligging hiervan kon niet met zekerheid vastgesteld worden.

De gemiddelde afwijking van de meetpunten ten opzichte van de gefitte curves in Figuur 6 bedraagt 0,3% in de driftreducties. Dit betreft een toevallige fout op 5 tot 7 meetpunten (het aantal meetpunten verschilt voor de diverse waterdrukken). Dit betekent dat de gefitte curves een factor $1/\sqrt{5}$ tot $1/\sqrt{7}$ nauwkeuriger zijn dan de individuele meetpunten. Ofwel, met behulp van de gefitte curves in Figuur 6 zijn driftreducties op ca. 0,1% nauwkeurig te schatten.



Figuur 6 Driftreductie op de evaluatiestrook als functie van de verhouding tussen luchtdruk en vloeistofdruk, gerangschikt voor de drie vloeistofdrukken. Voor spuitboom met HTA-doppen, waarbij buitenste twee doppen vervangen zijn door een HTA-randmodus-dop zoals in de tekst beschreven. Dichte ronde symbolen: geselecteerde combinaties; open vierkante symbolen: extra combinaties.

Tabel 5 Berekende drukverhouding op de kruisingen van gefitte curves met klassegrenzen 75%, 90% en 95% voor de verschillende vloeistofdrukken bij de simulaties met HTA-doppen; met hieruit bepaalde luchtdrukken.

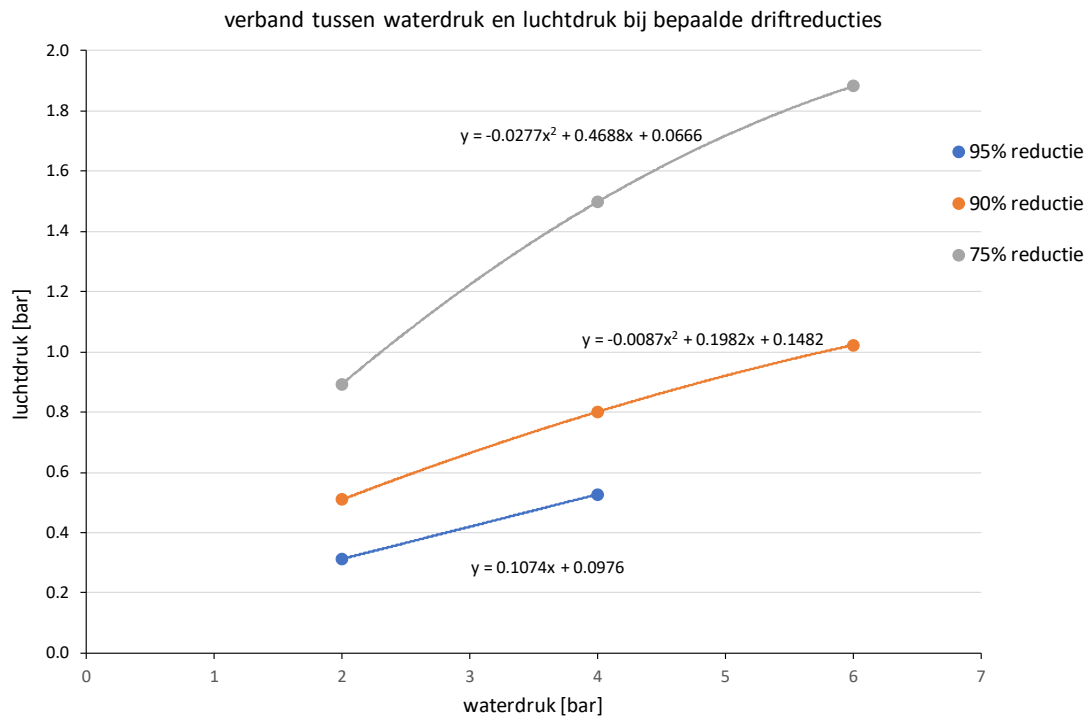
Vloeistofdruk [kPa]	Drukverhouding			Luchtdruk [kPa]		
	75%	90%	95%	75%	90%	95%
200	0.447	0.255	0.156	89	51	31
400	0.375	0.200	0.132	150	80	53
600	0.314	0.171	¹	188	102	¹

¹ het snijpunt met 95% driftreductie bij 600 kPa vloeistofdruk is niet bepaald.

De gevonden drukcombinaties in Tabel 5 zijn in Figuur 7 als grafiek te zien. De lijnen geven het globale verloop van drukcombinaties bij een constante driftreductie. In principe geven de lijnen een verzameling van drukcombinaties waarvoor een van de klassengrenzen 75%, 90% of 95% wordt behaald.

De curves van gelijke driftreductie in Figuur 7 kunnen gebruikt worden om bij andere (nog niet gemeten) vloeistofdrukken te schatten welke luchtdruk nodig is om een bepaalde driftreductie te verkrijgen. Als voorbeeld is dit voor een vloeistofdruk van 300 en 500 kPa bepaald, zie Tabel 6. Voor de volledigheid staan hierin ook de luchtdrukken uit Tabel 5 in voor de vloeistofdrukken 200, 400 en 600 kPa. In praktijk zal het moeilijk zijn om de luchtdrukken precies op de in de tabel genoemde waarden in te stellen. Stel dat de luchtdruk op 5 kPa ingesteld kan worden, dan is voor alle luchtdrukken de op 5 kPa naar beneden afgeronde waarde de beste keuze. De op deze wijze afgeronde waarden staan ook vermeld in Tabel 6.

Hierboven is genoemd dat de nauwkeurigheid van geschatte driftreducties ca. 0,1% bedraagt. Een dergelijk kleine variatie in driftreductie zou in alle onderzochte gevallen al gerealiseerd worden door ca. 0,6 kPa variatie in luchtdruk; in sommige gevallen is zelfs minder dan 0,6 kPa nodig. De fout van de in Tabel 6 berekende en geschatte luchtdrukken (linker 3 kolommen) is kleiner dan 0,6 kPa en zijn daarmee voldoende nauwkeurig en betrouwbaar.



Figuur 7 Berekende combinaties van vloeistof- en luchtdruk waarbij de driftreducties exact 75%, 90% of 95% bedragen. Gefitte curves geven het globale verloop aan.

Tabel 6 Berekende en geschatte luchtdrukken op de kruisingen van gefitte curves met klassegrenzen 75%, 90% en 95% voor de verschillende vloeistofdrukken bij de simulaties met HTA-doppen. Afgeronde luchtdruk is naar beneden afgerond op 5 kPa.

Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]			Afgeronde luchtdruk [kPa]		
	75%	90%	95%	75%	90%	95%
200	89	51	31	85	50	30
300 ²	122	66	42	120	65	40
400	150	80	53	150	80	50
500 ²	172	92	¹	170	90	¹
600	188	102	¹	185	100	¹

¹ het snijpunt met 95% reductie bij deze vloeistofdruk is niet bepaald.

² luchtdrukken bij deze vloeistofdrukken zijn geschat uit gefitte curves.

4 Discussie

Met de lucht-vloeistofdoppen HTA 10/39 TKSS4 zijn door variatie van vloeistofdruk en luchtdruk de druppelgrootteverdeling en vloeistofafgifte min of meer onafhankelijk van elkaar in te stellen. Door het meten van de druppelgrootteverdeling van een groot aantal drukcombinaties en vervolgens met het driftmodel IDEFICS simulaties uit te voeren, is een generiek model te vormen van mogelijke drukcombinaties om een zekere driftreductie te bereiken. Driftdepositie en driftreducties zijn vooralsnog alleen bepaald bij een spuitboomhoogte van 0,30 m en dopafstand van 0,25 m. Bovendien is de HTA-dop zonder luchttoevoer als randmodus-dop gebruikt. Voor andere keuzes wat betreft boomhoogte of plaatsing van doppen aan de spuitboom, biedt het generieke model uit deze studie geen oplossing.

Een punt van aandacht is de variatiecoëfficiënt van de vloeistofverdeling onder de spuitboom bij 95% driftreductie met een vloeistofdruk groter dan 400 kPa. Uit het generieke model, zoals bijvoorbeeld gepresenteerd in Figuur 7, zou weliswaar de driftreductie goed in te schatten zijn, maar niet of de VC aan de eis van minder dan 10% voldoet. Dat zal toch nader onderzocht moeten worden. Wanneer het mogelijk zou zijn om in Figuur 7 tevens grenslijnen aan te geven waarbinnen de VC kleiner dan 10% is, dan kan direct worden gezien of bepaalde combinaties toegestaan zijn of niet.

5 Conclusie

Met de lucht-vloeistofdoppen HTA 10/39 TKSS4 zijn door variatie van vloeistofdruk en luchtdruk de druppelgrootteverdeling en vloeistofafgifte min of meer onafhankelijk van elkaar in te stellen. In deze studie is voor dit systeem, genaamd HTA DriftControlPlus, een groot aantal drukcombinaties door meting en simulaties onderzocht wat betreft driftdepositie en driftreducties op een standaardsloot, bij een spuitboomhoogte van 0,30 m en dopafstand van 0,25 m. De verscheidenheid aan drukcombinaties kan gebruikt worden voor een generiek model om bij niet gemeten drukcombinaties toch een goede schatting te maken van driftdepositie en driftreductie. Wel moet geverifieerd worden of de variatiecoëfficiënt van de vloeistofverdeling onder de spuitboom niet de 10% zal overschrijden. Dit laatste is vooral van belang bij relatief lage luchtdrukken en daaraan gekoppelde hogere driftreducties.

In deze studie zijn vloeistofdrukken van 200, 400 en 600 kPa toegepast. Het verdient aanbeveling om ook bij enkele combinaties met 300 of 500 kPa vloeistofdruk metingen en simulaties te doen, ter onderbouwing en verificatie van het generieke model.

Het instellen van de juiste luchtdruk blijft een kritisch punt. Zeker bij relatief lage luchtdrukken, waar een verschil van 5 kPa al direct een verschil in driftreductie kan betekenen.

Literatuur

- Ganzelmeier, H. & Rautmann D., 2000. Drift, drift reducing sprayers and sprayer testing. Aspects of Applied Biology 57, Pesticide application, 2000, p1-10.
- Gilbert, A.J., 2000. Local Environmental Risk Assessment for Pesticides (LERAP) in the UK. Aspects of Applied Biology 57, Pesticide Application, 2000, p83-90.
- Holterman, H.J., J.C. van de Zande, H.A.J. Porskamp en J.F.M. Huijsmans, 1997. Modelling spray drift from boom sprayers. Computers and Electronics in Agriculture 19(1997): p1-22.
- Huijsmans, J.F.M., H.A.J. Porskamp en J.C. van de Zande, 1997. Drift(beperking) bij de toediening van gewasbeschermingsmiddelen. Evaluatie van de drift van spuitvloeistof bij bespuitingen in de fruitteelt, de volveldsteelten en de boomteelt (stand van zaken december 1996). IMAG-DLO Rapport 97-04, IMAG, Wageningen, 38 pp.
- I&M, 2012. Activiteitenbesluit Milieubeheer, Staatsblad 2012 441/643
- I&M, 2017a. Wijziging van het Activiteitenbesluit milieubeheer in verband met de vermindering van emissies van gewasbeschermingsmiddelen in de glastuinbouw en open teelten. Staatsblad 23 juni 2017. 305
- I&M, 2017b. Meetprotocol voor het vaststellen van de driftreductie van spuitdoppen voor neerwaartse en op- en zijwaartse bespuiting - versie 1 juli 2017. Op Helpdeskwater.nl.
- I&M, 2017c. Meetprotocol voor het vaststellen van de driftreductie van neerwaartse en op- en zijwaartse spuittechnieken - versie 1 juli 2017. Op Helpdeskwater.nl.
- ISO 16119-2, 2013. Agricultural and forestry machinery — Environmental requirements for sprayers — Part 2: Horizontal boom sprayers. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 16122-2, 2015. Agricultural and forestry machinery — Inspection of sprayers in use — Part 2: Horizontal boom sprayers. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO-22369, 2006. Crop protection equipment – Drift classification of spraying equipment. Part 1. Classes. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 5682-1, 2014. Equipment for crop protection — Spraying equipment — Part 1: Test methods for sprayer nozzles. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO5682-2, 2017. Equipment for crop protection — Spraying equipment — Part 2: Test methods to assess the horizontal transverse distribution for hydraulic sprayers. International Organization for Standardization, Geneva.
- Porskamp, H.A.J., J.C. van de Zande, H.J. Holterman en J.F.M. Huijsmans, 1999. Opzet van een classificatiesysteem voor spuitdoppen op basis van driftgevoeligheid. IMAG-DLO Rapport 99-02, IMAG, Wageningen, 22 pp.
- Southcombe, E.S.E., P.C.H. Miller, H. Ganzelmeier, J.C. van de Zande, A. Miralles & A.J. Hewitt, 1997. The international (BCPC) spray classification system including a drift potential factor. Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 1997. November 1997. Brighton. UK. p.371-380.
- TCT, 2017. Beoordelingssystematiek emissiereducerende maatregelen open teelt. Op Helpdeskwater.nl.
- TCT, 2019. Lijst met indeling van spuitdoppen in Driftreducerende Dop-klassen (DRD-lijst). Op Helpdeskwater.nl.

Bijlage 1 Overzicht metingen van druppelgroottes

In Tabel B.1 is een overzicht gegeven van druppelgroottemetingen voor de referentiedop BCPC F/M, zoals uitgevoerd op de dagen waarop ook de HTA-doppen werden gemeten. Deze 30 referentiemetingen zijn samengevoegd tot het druppelgroottespectrum voor de BCPC F/M referentiedop om te gebruiken in de IDEFICS simulaties.

De Tabellen B.2-B.4 geven een overzicht van de druppelgroottemetingen voor de HTA-doppen bij de geselecteerde combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk. Metingen werden voor drie doppen in drievoud uitgevoerd.

Tabel B.1 *Overzicht van de karakteristieke grootheden van het druppelgroottespectrum, gemiddelde druppelsnelheid en aantal gemeten druppels voor de BCPC-F/M referentiedop bij 300 kPa vloeistofdruk; gemeten met PDPA gedurende de dagen dat ook HTA-doppen werden gemeten.*

Run	Datum	D _{V10} [μm]	D _{V50} [μm]	D _{V90} [μm]	V ₁₀₀ [%]	V _{gem} [m/s]	Aantal druppels
1	27-2-2020	114.9	220.8	356.9	6.35	3.64	37800
2		112.8	217.7	364.7	6.77	3.47	41200
3		117.4	220.3	349.1	5.90	3.60	36900
4		116.7	218.7	354.9	5.93	3.67	36100
5		113.8	217.3	348.6	6.59	3.57	37100
6	28-2-2020	113.2	218.3	353.6	6.61	3.52	37800
7		115.1	219.5	365.0	6.36	3.50	39000
8	2-3-2020	117.4	220.5	359.4	5.87	3.59	35900
9		112.1	215.6	353.8	6.75	3.51	39600
10	3-3-2020	113.5	219.9	379.6	6.51	3.51	36300
11		113.5	218.3	365.1	6.54	3.71	37500
12		114.4	214.6	344.2	6.29	3.61	36600
13	6-3-2020	116.2	220.1	348.9	6.07	3.50	37400
14		113.1	215.8	354.6	6.71	3.50	40500
15		113.4	215.1	356.9	6.58	3.44	40100
16	9-3-2020	112.2	214.8	342.6	6.78	3.44	41300
17		113.8	216.7	358.2	6.47	3.48	40200
18		116.3	218.9	349.2	6.05	3.48	38300
19	10-3-2020	112.6	217.0	354.9	6.64	3.49	39300
20		114.6	217.4	356.5	6.31	3.45	39400
21		111.8	215.8	359.6	6.95	3.49	42900
22		114.8	218.1	358.2	6.34	3.45	39900
23	11-3-2020	113.8	218.3	364.3	6.52	3.38	41100
24		114.9	218.7	357.6	6.29	3.50	39900
25		115.7	216.9	351.7	6.01	3.37	38100
26	12-3-2020	117.7	218.2	350.3	5.76	3.52	37000
27		116.2	218.3	370.1	6.07	3.46	38400
28		114.2	218.0	357.3	6.44	3.42	40100
29	13-3-2020	112.3	214.7	346.9	6.81	3.34	41600
30		113.1	217.9	344.4	6.58	3.42	38600
gemiddeld		114.4	217.7	355.9	6.40	3.50	38800

Tabel B.2 Overzicht van de karakteristieke grootheden van het druppelgroottespectrum, gemiddelde druppelsnelheid en aantal gemeten druppels voor de HTA-doppen bij verschillende combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk; gemeten met PDPA.

Run	Datum	Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]	Dopnr	D _{V10} [μm]	D _{V50} [μm]	D _{V90} [μm]	V ₁₀₀ [%]	V _{gem} [m/s]	Aantal druppels
1	12-3-2020	200	30	8	326.7	702.0	1170.1	0.38	1.47	9900
2					316.9	706.4	1222.2	0.44	1.46	11000
3					324.4	701.8	1182.7	0.38	1.46	10000
4	13-3-2020			1	317.7	690.3	1203.9	0.38	1.49	10600
5					311.0	682.0	1218.8	0.47	1.43	11900
6					310.8	668.2	1324.9	0.37	1.51	11200
7				4	321.6	693.2	1279.8	0.36	1.44	9200
8					309.4	680.1	1125.6	0.41	1.47	10800
9					306.6	677.4	1187.5	0.39	1.50	10700
gemiddeld					316.1	689.0	1212.8	0.40	1.47	10600
1	13-3-2020	200	35	4	283.0	600.2	1017.7	0.53	1.55	14000
2					279.9	602.8	1149.5	0.53	1.53	14400
3					281.2	615.4	1141.9	0.60	1.48	15700
4	16-3-2020			8	305.5	675.6	1199.3	0.42	1.58	12800
5					293.5	629.5	1087.9	0.47	1.61	12700
6					292.4	659.5	1110.2	0.45	1.61	12700
7				1	267.2	576.9	1054.1	0.61	1.54	15800
8					276.3	593.0	1061.9	0.50	1.57	14100
9					281.1	585.2	1043.7	0.54	1.53	14500
gemiddeld					284.5	615.3	1096.2	0.52	1.56	14100
1	16-3-2020	200	50	1	205.7	461.8	837.7	1.01	1.76	16100
2					203.0	469.7	938.9	1.15	1.66	17500
3					204.4	441.9	809.4	1.15	1.79	16400
4				4	232.4	498.5	953.1	0.78	1.83	12800
5					220.8	487.8	844.9	0.86	1.80	13700
6					222.1	497.2	886.5	0.88	1.76	14100
7				8	228.8	501.9	929.3	0.91	1.80	14400
8					221.9	484.5	872.2	0.95	1.81	15100
9					231.3	507.8	900.0	0.73	1.85	13700
gemiddeld					218.9	483.4	885.8	0.94	1.78	14900
1	6-3-2020	200	90	8	133.9	308.8	603.9	4.00	2.20	28000
2					132.5	308.5	571.9	4.35	2.15	28500
3					135.6	307.8	546.9	4.05	2.21	26500
4				1	130.4	288.2	549.5	4.23	2.06	29200
5					132.1	295.1	580.4	4.08	2.13	28900
6					131.0	295.4	567.6	4.30	2.13	30200
7				4	139.6	313.2	580.1	3.53	2.16	24500
8					135.5	305.6	593.1	3.79	2.04	26300
9					138.9	320.2	609.8	3.74	2.16	27000
gemiddeld					134.4	304.8	578.1	4.01	2.14	27700

Tabel B.3 Overzicht van de karakteristieke grootheden van het druppelgroottespectrum, gemiddelde druppelsnelheid en aantal gemeten druppels voor de HTA-doppen bij verschillende combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk; gemeten met PDPA.

Run	Datum	Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]	Dopnr	D _{V10} [μm]	D _{V50} [μm]	D _{V90} [μm]	V ₁₀₀ [%]	V _{gem} [m/s]	Aantal druppels
1	10-3-2020	400	45	4	342.7	739.7	1254.3	0.24	1.96	12700
2				8	333.7	749.7	1235.2	0.27	2.00	14600
3				1	328.8	703.9	1129.7	0.30	1.95	14200
4	11-3-2020				335.8	721.1	1190.0	0.26	2.01	13000
5	12-3-2020				327.7	712.6	1218.5	0.30	1.93	14900
6				4	343.9	757.6	1214.1	0.23	1.96	12000
7					345.4	777.3	1303.7	0.27	1.89	13700
8				8	347.1	754.5	1279.7	0.26	1.99	13300
9					334.6	735.6	1177.4	0.28	2.02	14100
gemiddeld					337.7	739.1	1222.5	0.27	1.97	13600
1	9-3-2020	400	55	8	282.6	625.4	1095.5	0.39	2.02	21000
2					285.9	634.3	1128.1	0.40	2.03	22100
3					287.8	649.5	1069.7	0.36	2.02	21300
4	10-3-2020			1	265.3	589.3	1030.6	0.55	1.89	26000
5					265.0	573.0	1022.5	0.49	1.98	23100
6					258.4	566.2	978.9	0.56	1.93	25900
7				4	291.8	631.1	1155.0	0.41	1.97	20800
8					285.5	623.7	1038.9	0.41	2.02	21100
9					280.2	607.4	1085.9	0.46	1.95	22500
gemiddeld					278.0	611.1	1067.2	0.45	1.98	22700
1	9-3-2020	400	80	1	194.7	423.6	792.0	1.07	2.18	46700
2					195.1	422.3	803.1	1.14	2.22	29800
3					192.5	421.0	764.7	1.14	2.23	28500
4				4	208.2	449.8	830.1	0.93	2.32	25300
5					209.2	443.3	860.8	0.96	2.31	25100
6					214.3	456.0	836.3	0.86	2.31	24000
7				8	210.8	445.4	784.1	0.86	2.35	24600
8					209.0	451.3	841.0	0.87	2.30	25900
9					208.6	444.9	790.2	0.90	2.33	24700
gemiddeld					204.7	439.7	811.4	0.97	2.28	28300
1	6-3-2020	400	140	1	133.0	289.0	515.0	3.95	2.77	27700
2					133.2	284.8	521.5	4.08	2.74	28400
3					135.1	286.1	534.6	3.66	2.81	25600
4				4	134.5	283.1	524.2	3.96	2.75	26200
5					139.7	296.7	519.6	3.32	2.76	23900
6					139.1	299.6	526.4	3.33	2.82	24200
7				8	143.5	311.3	597.8	3.27	2.92	23600
8					141.0	307.8	572.3	3.31	2.92	22900
9					142.8	307.7	557.1	3.15	2.97	22300
gemiddeld					138.0	296.2	540.9	3.56	2.83	25000

Tabel B.4 Overzicht van de karakteristieke grootheden van het druppelgroottespectrum, gemiddelde druppelsnelheid en aantal gemeten druppels voor de HTA-doppen bij verschillende combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk; gemeten met PDPA.

Run	Datum	Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]	Dopnr	D _{V10} [μm]	D _{V50} [μm]	D _{V90} [μm]	V ₁₀₀ [%]	V _{gem} [m/s]	Aantal druppels
1	2-3-2020	600	90	1	238.1	509.7	890.1	0.57	2.45	19400
2					232.7	496.8	892.7	0.63	2.47	26600
3					221.6	464.2	861.0	0.70	2.48	30500
4				4	234.0	497.4	853.5	0.66	2.48	22300
5					229.6	499.3	860.3	0.66	2.52	22100
6					227.8	480.4	832.2	0.70	2.49	21800
7	3-3-2020			8	248.8	517.0	916.7	0.52	2.60	17400
8					239.1	515.0	907.6	0.62	2.61	21000
9					241.1	511.5	901.3	0.57	2.57	20100
gemiddeld					234.8	499.0	879.5	0.63	2.52	22400
1	3-3-2020	600	100	4	215.8	447.2	811.2	0.81	2.63	24400
2					206.2	438.2	817.8	0.94	2.62	27500
3					210.7	452.4	803.3	0.93	2.53	27200
4				8	211.0	446.6	805.6	0.93	2.64	26500
5					210.6	446.0	821.8	0.94	2.62	26900
6					216.2	463.0	825.7	0.83	2.68	26200
7				1	200.4	423.2	737.8	0.96	2.65	28200
8					200.5	424.4	779.9	1.01	2.63	27700
9					207.7	432.9	791.7	0.95	2.68	26500
gemiddeld					208.8	441.5	799.4	0.92	2.63	26800
1	5-3-2020	600	200	1	125.0	253.6	479.7	4.89	3.34	41600
2					123.8	259.3	475.7	5.08	3.28	29100
3					125.2	264.0	499.2	4.88	3.25	27400
4				4	131.2	278.3	541.3	4.20	3.28	23000
5					124.0	259.8	473.1	5.07	3.25	26100
6					130.0	263.5	481.4	4.24	3.34	23300
7				8	128.7	270.4	498.0	4.56	3.42	25900
8					130.2	274.0	507.4	4.35	3.37	24200
9					130.9	274.5	502.7	4.20	3.49	24300
gemiddeld					127.7	266.4	495.4	4.61	3.34	27200

Bijlage 2 Overzicht aanvullende metingen van druppelgroottes

Overzichten van druppelgroottemetingen van HTA-doppen voor aanvullende combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk. Bij deze metingen zijn de drie geselecteerde doppen in enkelvoud gemeten; Tabel B.5. Verder is in Tabel B.6 en overzicht gegeven van metingen van HTA-doppen zonder luchttoevoer. Ook deze metingen zijn minder uitgebreid gedaan, omdat het een toepassing als randmodus-dop betreft en niet een volvelds toepassing in deze studie.

Tabel B.5 *Overzicht van de karakteristieke grootheden van het druppelgroottespectrum, gemiddelde druppelsnelheid en aantal gemeten druppels voor de HTA-doppen bij verschillende combinaties van vloeistofdruk en luchtdruk; gemeten met PDPA.*

Run	Datum	Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]	Dopnr	D _{V10} [μm]	D _{V50} [μm]	D _{V90} [μm]	V ₁₀₀ [%]	V _{gem} [m/s]	Aantal druppels
1	18-3-2020	200	60	1	187.2	431.8	766.0	1.38	1.89	13300
2				4	177.5	420.8	771.2	1.57	1.91	14000
3				8	183.8	407.4	756.4	1.48	1.89	12700
gemiddeld					182.8	420.0	764.5	1.48	1.90	13300
1	18-3-2020	200	80	8	143.4	324.9	624.1	2.92	2.07	21800
2				1	147.9	338.5	660.9	2.94	2.03	21800
3				4	157.0	361.8	734.8	2.39	2.14	19300
gemiddeld					149.4	341.7	673.3	2.75	2.08	21000
1	18-3-2020	400	60	1	260.1	579.6	1010.5	0.57	1.98	11000
2				4	268.5	588.2	1009.0	0.49	2.03	10100
3				8	270.0	562.8	964.0	0.48	2.09	9300
gemiddeld					266.2	576.9	994.5	0.51	2.03	10100
1	18-3-2020	400	100	4	179.2	386.1	695.3	1.51	2.56	13300
2				8	180.7	386.8	676.1	1.50	2.60	13900
3				1	166.0	350.0	656.2	1.81	2.52	15700
gemiddeld					175.3	374.3	675.9	1.61	2.56	14300
1	18-3-2020	400	120	8	155.4	329.1	597.8	2.38	2.77	18100
2				1	144.0	309.0	582.3	2.99	2.65	21700
3				4	150.5	325.5	582.2	2.60	2.66	18700
gemiddeld					150.0	321.2	587.4	2.66	2.69	19500
1	18-3-2020	600	120	1	172.8	366.7	654.6	1.50	2.74	17900
2				4	178.5	384.4	697.2	1.48	2.75	18400
3				8	183.0	388.2	712.1	1.39	2.77	17100
gemiddeld					178.1	379.7	688.0	1.46	2.75	17800
1	18-3-2020	600	150	4	154.7	325.0	574.5	2.31	2.98	23100
2				8	156.3	330.9	580.7	2.26	3.12	23700
3				1	147.4	308.6	543.8	2.81	2.89	27800
gemiddeld					152.8	321.5	566.3	2.46	3.00	24800

Tabel B.6 Overzicht van de karakteristieke grootheden van het druppelgroottespectrum, gemiddelde druppelsnelheid en aantal gemeten druppels voor de HTA-doppen zonder luchtdruk, te gebruiken als randmodus-doppen; gemeten met PDPA.

Run	Datum	Vloeistofdruk [kPa]	Luchtdruk [kPa]	Dopnr	D _{v10} [μm]	D _{v50} [μm]	D _{v90} [μm]	V ₁₀₀ [%]	V _{gem} [m/s]	Aantal druppels
1	4-2-2020	200	0	1	582.1	1067.6	1470.2	0.06	1.56	2000
2	10-2-2020				683.7	1180.5	1607.1	0.05	1.59	2200
3					647.2	1162.9	1515.7	0.05	1.59	3200
4	17-3-2020			4	588.3	1138.6	1611.5	0.08	1.50	3800
5					609.6	1089.1	1593.8	0.06	1.53	3500
6				8	647.6	1162.9	1559.4	0.06	1.59	3400
7					610.5	1100.6	1548.4	0.06	1.51	3600
gemiddeld					624.1	1128.9	1558.0	0.06	1.55	3100
1	10-2-2020	400	0	1	386.4	844.7	1380.9	0.26	1.74	24300
2					389.1	841.7	1391.5	0.25	1.75	8500
3	17-3-2020			8	380.0	860.7	1431.2	0.29	1.64	12500
4					400.4	930.2	1463.3	0.26	1.67	11900
5				4	357.2	770.9	1267.4	0.31	1.65	12500
6					370.1	841.9	1372.6	0.29	1.68	11500
gemiddeld					380.5	848.4	1384.5	0.28	1.69	13500
1	10-2-2020	600	0	1	292.3	720.3	1280.7	0.59	1.83	35700
2	17-3-2020			4	243.8	605.9	1179.9	0.91	1.71	23900
3					259.3	632.0	1379.9	0.75	1.74	23100
4				8	249.5	625.7	1212.0	0.83	1.74	22600
5					234.4	557.4	1208.3	0.90	1.69	22600
gemiddeld					255.8	628.3	1252.2	0.80	1.74	25600

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1022

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Correspondentie adres voor dit rapport:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1022

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

