



Driftmetingen Dominiak Dwarsstroomspuit 2021-2022

D.C. de Hoog, P.W. Goedhart, H.J. Holterman, J.F.M. Huijsmans, J.M.G.P. Michielsen, M. Snoussi,
H. Stallinga, M. Wenneker & J.C. van de Zande



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Driftmetingen Dominiak Dwarsstroomspuit 2021-2022

D.C. de Hoog, P.W. Goedhart, H.J. Holterman, J.F.M. Huijsmans, J.G.P. Michielsen, M. Snoussi, H. Stallinga, M. Wenneker & J.C. van de Zande

Dit onderzoek is in samenwerking met Dominiak Fruitteeltmachines te Lienden en Dominiak Polen uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Agrosysteemkunde (projectnummer 3710477900).

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

Wageningen, augustus 2022

Rapport WPR-1180

Dit rapport is gratis te downloaden op [https://doi.org/ 10.18174/575341](https://doi.org/10.18174/575341)

Results of spray drift experiments are presented of the Dominiak cross-flow fan orchard sprayer in comparison with a reference spray technique for fruit crop spraying in The Netherlands. The Dominiak sprayer was equipped with controllable air valves and drift reducing nozzles (Teejet AI 80-02 VS at 2 bar spray pressure, 95 % drift reduction), the PTO of the tractor, controlling the fan speed, was limited to 270 rpm, the fan gear was set to '1' (low air setting). The Dominiak orchard sprayer used a specific protocol for the outer six tree rows, limiting the amount of air support out of the orchard and spraying the outer tree row from one side. During the spray drift experiments, performed in 2021 and 2022, the downwind outer 24 m of an apple orchard was sprayed at the full leaf stage (BBCH 75-91) using the fluorescent tracer Acid Yellow 250. Spray drift deposition was collected downwind on a mowed grass area up to 25 m distance from the last tree row. For the Dominiak orchard sprayer spray drift reduction at 4.5-5.5 m distance from the last tree row was 99.6% in comparison with the reference spray application.

Key words: orchard sprayer, spray drift, nozzle type, air assistance, spray drift reduction

© 2022 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-1180

Foto omslag: Jean-Marie Michielsen (P1050287.JPG)

Inhoud

Inhoud	5
1. Inleiding	7
2. Materiaal en Methode	9
2.1 Afstelling en beschrijving kandidaat spuittechniek	9
2.2 Karakteristieken referentie dwarsstroomspuit	13
2.3 Samenvatting gebruikte spuittechnieken	14
2.4 Beschrijving metingen en verwerking resultaten	15
2.4.1 Metingen	15
2.4.2 Analyses	18
2.5 Methode voor het schatten van het reductiepercentage	19
2.5.1 Globale beschrijving van de methode	19
2.5.2 Gedetailleerde beschrijving van de methode	20
2.5.3 Meta-analyse	21
2.5.4 Opmerkingen bij de methode	21
2.6 Weersomstandigheden	23
3 Resultaten	25
4 Discussie en conclusie	27
Literatuur	29

1. Inleiding

Vermindering van de emissie van gewasbeschermingsmiddelen in de fruitteelt speelt een belangrijke rol bij de invulling van Duurzame Gewasbescherming (EZ, 2013), het Activiteitenbesluit Milieubeheer (I&W, 2017) en de toelating van gewasbeschermingsmiddelen (Ctgb, 2021). Op alle percelen dient de toediening van gewasbeschermingsmiddelen met minimaal 75% drift-reducerende technieken (DRT75) uitgevoerd te worden. Hierbij stelt het Activiteitenbesluit Milieubeheer (I&W, 2017) dat voor de fruitteelt de teeltvrije zone bij een DRT75 (TCT, 2021) minimaal 4,5 m moet zijn. Als een 3 m teeltvrije zone gebruikt wordt moeten gewasbeschermingsmiddelen met een minimaal 90% drift-reducerende techniek (DRT90) uitgevoerd worden.

De emissie van gewasbeschermingsmiddelen in de fruitteelt is hoog ten opzichte van andere teeltsectoren. Dit wordt onder meer veroorzaakt door de opgaande en horizontale spuitrichting en de vaak krachtige luchtondersteuning bij fruitteeltspuiten, waardoor veel spuitvloeistof door het bladerdek van de bomenrijen heen gespoten wordt. Om emissie te beperken zijn verschillende techniek- en teeltmaatregelen mogelijk. Technische maatregelen kunnen bestaan uit het gebruik van een geschikt doptype, afscherming en luchtondersteuning. Een teeltmaatregel is bijvoorbeeld het aanleggen van een windsingel (windhaag), of het aanleggen van een grotere teeltvrije zone waardoor de afstand tussen het te bespuiten gewas en het oppervlaktewater vergroot wordt, en de drift naar het wateroppervlak af zal nemen. Uit metingen is gebleken dat bespuitingen met neveldoppen een aanzienlijke drift naar de lucht tot gevolg kunnen hebben (Michielsen *et al.*, 2007, Zande *et al.*, 2014). Deze emissie kan relevant zijn voor milieubelasting op grotere afstand van percelen, of consequenties hebben voor de aanwezigheid van bijvoorbeeld omwonenden en bebouwing (Gezondheidsraad, 2014). In deze rapportage wordt alleen driftdepositie op korte afstand onderzocht en geëvalueerd voor de depositie op oppervlaktewater voor indeling in een driftreductieklasse.

De Dominiak dwarsstroomspuit geeft de gebruiker de gelegenheid om beide luchtkleppen onafhankelijk van elkaar in te stellen. In de metingen voor dit project is gebruik gemaakt van een randrij protocol, waarbij de luchtondersteuning naar de buitenzijde van het perceel wordt gesmoord, verder is gebruik gemaakt van een laag ventilator toerental, door het instellen van de aftakas toeren en de versnellingsbak van de ventilator, eenzijdig bespuiten van de buitenste bomenrij en een 95 % driftreducerende dop (Teejet AI 80-02 VS bij 2 bar, TCT, 2022).

In dit onderzoek wordt een Dominiak dwarsstroomspuit vergeleken met een conventionele dwarsstroomspuit met betrekking tot de benedenwindse driftdepositie op de grond. De driftmetingen voldoen aan de opgestelde eisen vanuit de toelating van gewasbeschermingsmiddelen (Ctgb, 2021), het Activiteitenbesluit Milieubeheer (I&W, 2017) en internationale afspraken rondom erkenning van driftmetingen (ISO22866, 2005; ISO22369, 2006). In deze rapportage worden de uitgevoerde driftmetingen van de Dominiak dwarsstroomspuit met de genoemde randvoorwaarden en de standaard dwarsstroom boomgaardspuit tijdens bespuitingen van een appelboomgaard in het volblad (na 1 mei) stadium beschreven. In hoofdstuk 2 wordt de proefopzet besproken, daarna volgen in hoofdstuk 3 en 4 respectievelijk de resultaten en de discussie en conclusie.

2. Materiaal en Methode

2.1 Afstelling en beschrijving kandidaat spuittechniek

In een veldonderzoek is in de periode 2021-2022 de drift gemeten van een Dominiak boomgaardspuit. De spuit is een dwarsstroomspuit welke is uitgerust met regelbare luchtkleppen (figuur 2.5), waardoor de luchtondersteuning geregeld kan worden door de bestuurder. In pad 7-9 wordt met een standaard instelling van volle lucht gewerkt. In de buitenste 6 werkgangen wordt gewerkt met vaste luchtinstellingen, waarbij de lucht richting de buitenzijde van de boomgaard gesmoord wordt. De buitenste bomenrij wordt eenzijdig bespoten, dus in pad 1 en 2 wordt alleen perceel inwaarts gespoten, hier blaast de lucht ook alleen perceelinwaarts (tabel 2.1). De luchtsnelheid van de machine werd verlaagd door met een laag aftakastoeental (270 rpm) te werken, de luchtinstelling op de versnellingsbak van de spuit stond in stand 1 (figuur 2.2). De vloeistof werd verpoten met een 95% driftreducerende dop (figuur 2.3, Teejet AI 80-02 VS bij 2 bar).

De instellingen voor de verschillende werkgangen staan weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Lucht en vloeistofinstellingen van de Dominiak boomgaardspuit. De laagste klepstand is altijd naar de buitenzijde van het perceel gericht en in het geval van eenzijdig spuiten is dit altijd naar binnen het perceel. Klepstand 0 = helemaal dicht, klepstand 100 = helemaal open. De Dominiak terminal werkt met driftreductie standen, welke omgekeerd evenredig zijn met de klepstanden. Het perceel is van binnen naar buiten bespoten, te beginnen met pad 9 en op volgorde tot pad 1, dit is weergegeven in het getal: werkgang.

Pad (werkgang)	boomrij	Klepstand links-rechts	terminal- aanduiding	spuiten
1 (9)	1	0-100	100-0	éénzijdig
2 (8)	1 – 2	100-0	0-100	éénzijdig
3 (7)	2 – 3	6-100	94-0	
4 (6)	3 – 4	100-6	0-94	
5 (5)	4 – 5	6-100	94-0	
6 (4)	5 – 6	100-6	0-94	
7 (3)	6 – 7	100-100	0-0	
8 (2)	7 – 8	100-100	0-0	
9 (1)	8 – 9	100-100	0-0	

De drift van de Dominiak boomgaardspuit werd vergeleken met die van de referentie dwarsstroomspuit voorzien van Albuz ATR Lila doppen (referentietechniek; TCT, 2017).



Figuur 2.1 De Dominiak dwarsstroomspuit tijdens driftmetingen. De luchtkleppen bovenop de spuit staan helemaal open.

Tabel 2.2 Dophoogte vanaf de grond [cm] van de dophouders op de Dominiak dwarsstroomspuit, links en rechts zijn identiek.

dopnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	63	89	115	141	167	193	219	245	271	297

Tijdens de driftmetingen (figuur 2.1) werd er gespoten met 8 spuitdoppen (tabel 2.2, dop 1-8). Deze selectie is gemaakt zodat de spuithoogte in overeenstemming is met de toppen van de fruitbomen. De spuit werd getrokken en aangedreven door een New Holland T4.110N fruitteelt trekker. De rijsnelheid bij een aftakstoerental van 270 rpm was ongeveer 6.1 km/h, de ventilator afhankelijk van het toerental van de aftakas, de versnellingsbak van de ventilator was ingesteld op de lage stand. De luchtkleppen bovenop de luchtkast stonden volledig open (figuur 2.1). Bij de bespuitingen werd de drift vastgelegd bij gebruik van Teejet AI 80-02 VS spuitdoppen bij 2 bar spuitdruk (figuur 2.3, DRD95, TCT, 2022). Het spuitvolume was 350 l/ha.



Figuur 2.2 De versnellingsbak van de ventilator wordt door middel van een schakelaar in stand 1 gezet.



Figuur 2.3 De gebruikte Teejet AI 80-02 VS spuitdop (DRD95, TCT, 2022)



Figuur 2.4 In de cabine van de trekker zijn twee terminals, de linker regelt de instelling van de luchtkleppen en de rechter regelt het spuiten.



Figuur 2.5 De luchtklep van de Dominiak dwarsstroomspuit, de grootte van de opening kan links en rechts onafhankelijk worden ingesteld met de terminal in de cabine van de trekker.

2.2 Karakteristieken referentie dwarsstroomspuit

De referentie dwarsstroomspuit (Munckhof, Horst) is een axiaalspuit voorzien van een dwarsstroomkap op de ventilator (figuur 2.6). In tabel 2.3 staan de posities van de dophouders van de dwarsstroomspuit boven grondoppervlak weergegeven.

Tabel 2.3 Dophoogte vanaf de grond [cm] van de dophouders op de referentie dwarsstroomspuit.

dopnr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
links	50	68	84	99	120	153	180	215	250	285
rechts	48	66	81	99	121	153	181	216	251	286

Er werd gespoten met 2 x 8 geopende spuitdoppen, waarbij de onderste (ca. 50 cm) en de bovenste dop (op ca. 285 cm) waren gesloten. De bovenste spuitende dop zat op 2,50 m hoogte in overeenstemming met de toppen van de fruitbomen. De spuit werd aangedreven door een New Holland T4.110N fruitteelttrekker, met een rijsnelheid van 6,5-6,9 km/h en een aftakas-toerental van 540 rpm. Er werd gemeten bij de volluchtstand van de ventilator, hierbij was de gemiddelde luchtsnelheid over de gehele luchtspleet 21 m/s. Albuz ATR Lila werveldoppen zijn gebruikt met een spuitdruk van 7 bar (referentie) en een spuitvolume van 200 l/ha.



Figuur 2.6 Standaard referentie dwarsstroomspuit tijdens driftmetingen.

2.3 Samenvatting gebruikte spuittechnieken

In tabel 2.4 staat een samenvatting van de tijdens de driftmetingen gebruikte spuittechnieken.

Tabel 2.4 Samenvatting gebruikte spuittechnieken in de driftmetingen

Spuit	referentie	Dominiak Dwarsstroomspuit
Aftakas toerental	540	270
Spuitdoppen	Albuz	Teejet
	ATR Lila	AI 80-02 VS
doptype	Werveldop	Venturidop
druk [bar]	7	2
n-doppen	2x8	2x8
dop afgifte [l/min]	0,42	0,65
Gemiddelde rijsnelheid [km/h]	6,9	6,1
Gemiddeld spuitvolume [l/ha]	200	350

2.4 Beschrijving metingen en verwerking resultaten

2.4.1 Metingen

De experimenten werden uitgevoerd in 2021-2022. In 2021 was dat op 18 en 19 november (beide 2x). In 2022 werden de metingen uitgevoerd op 10 (2x) en 20 juni en op 1 juli. Ze zijn uitgevoerd in de proeftuin van WPR BU Open Teelten-fruit te Randwijk, op perceel Oost. Dit perceel is aangeplant met het appelras Elstar. De fruitbomen staan in een plantverband van 1,1 m afstand in de rij en 3,0 m tussen de rijen (rijafstand). De bomen waren 2,25 m hoog en in het volbladstadium (BBCH 75-91). Alle metingen zijn uitgevoerd in overeenstemming met de driftmeetprotocollen TCT (TCT, 2017) en ISO22866.

Het blok had een lengte van 55 m. Op de strook gras kon 1 meetstrook worden uitgelegd. Deze meetstrook bestond uit twee meetraaien (duplo bepalingen) uitgelegd met ongeveer 2 meter tussenruimte tussen de meetraaien. In figuur 2.7 staat een schematische weergave van het proefveld en meetopstelling. In figuur 2.8 staat een bovenaanzicht van het proefveld met aan weersijden de meetopstelling (boven) en een bovenaanzicht van de boomrijen en de proefopstelling.

Tijdens de driftmetingen werden de laatste acht bomenrijen (24m) aan de benedenwindse zijde bespoten volgens het protocol in tabel 2.1. Na elke bespuiting werden de driftcollectoren verzameld en per stuk verpakt en opgeborgen, zodat de depositie per object bepaald kon worden.

Op de volgende posities werden collectoren (Technofil TF 290; 10x100 cm, 10x50 cm) gelegd om de driftdepositie naar de grond te meten (figuur 2.9):

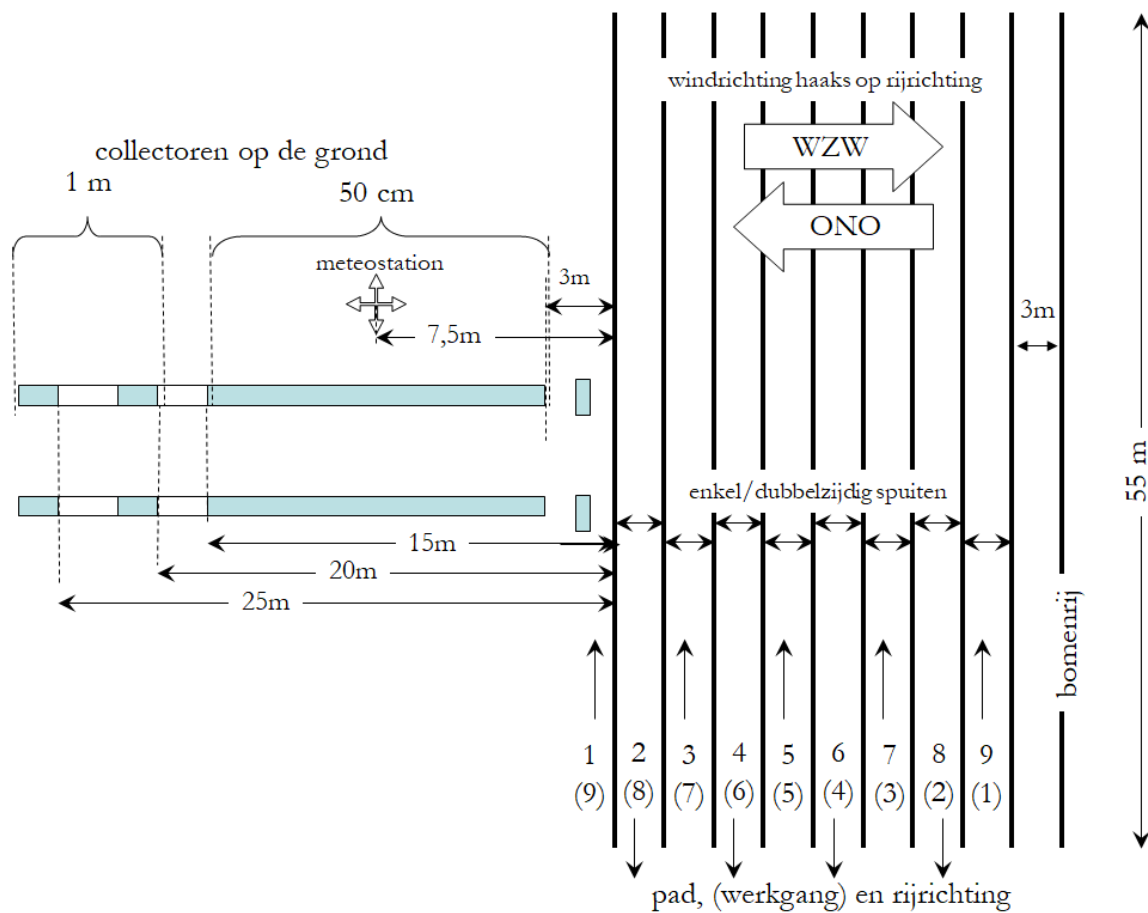
- Op 1,5 meter, evenwijdig aan de buitenste bomenrij, een collector van 1 meter lengte.

- Op 3 – 15 meter aaneengesloten collectoren van 0,5 meter (haaks op de bomenrij).

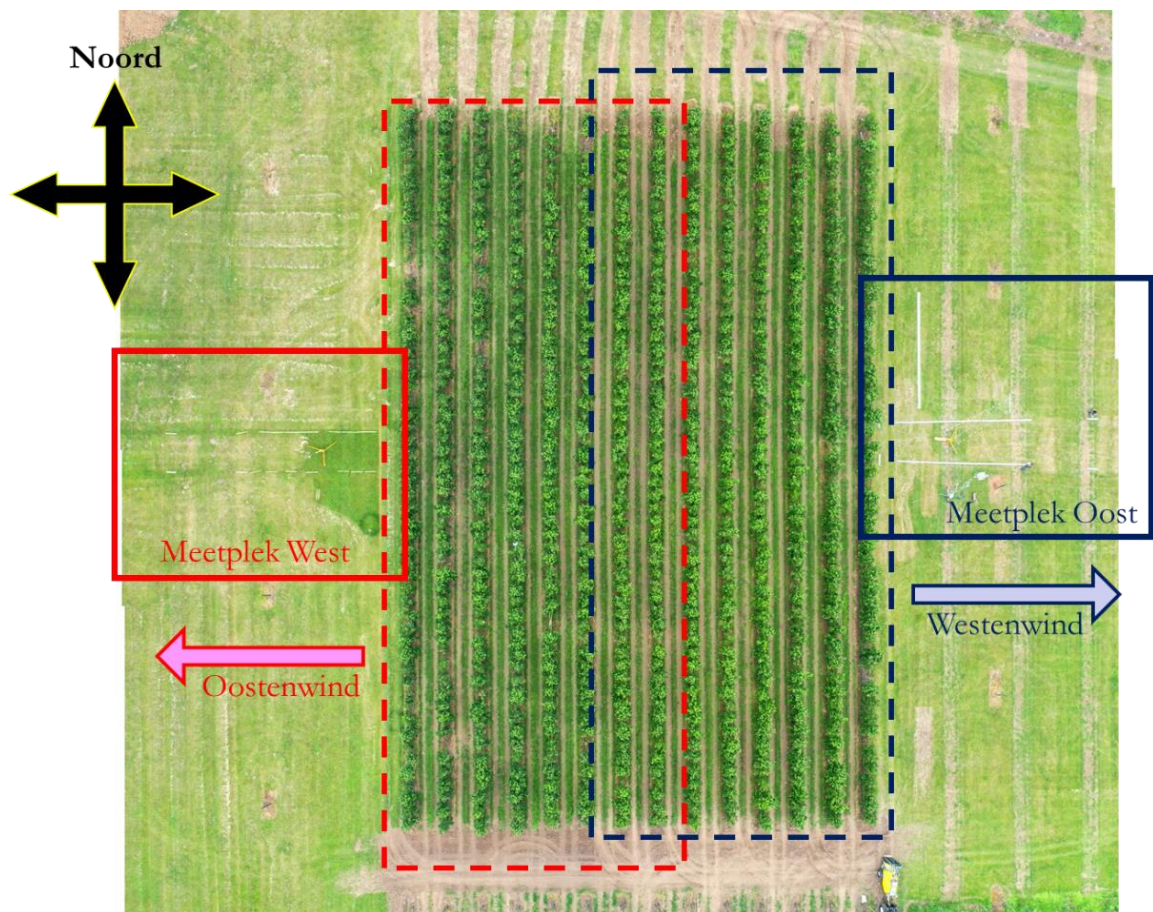
- Op 20 en 25 meter een collector van 1 meter (haaks op de bomenrij).

De afstand werd gemeten vanaf het midden (hart) van de buitenste bomenrij.

Tijdens de metingen werd voor elke te bespuiten rij de instelling van de spuit (zowel test als referentie) gecontroleerd en vastgelegd en de heersende wind bepaald. Volgens het meetprotocol (TCT, 2017) moet de windsnelheid tussen 1 en 5 m/s liggen en de windrichting mag niet meer dan 30° van haaks afwijken. Pas als hieraan was voldaan, werd de bespuiting gestart. Aan het eind werd van alle meteodata een samenvattend gemiddelde gemaakt (paragraaf 2.6). Als bij het passeren van de meetopstelling de windrichting en of snelheid niet aan de genoemde criteria van het meetprotocol voldeden, werden de metingen afgekeurd.



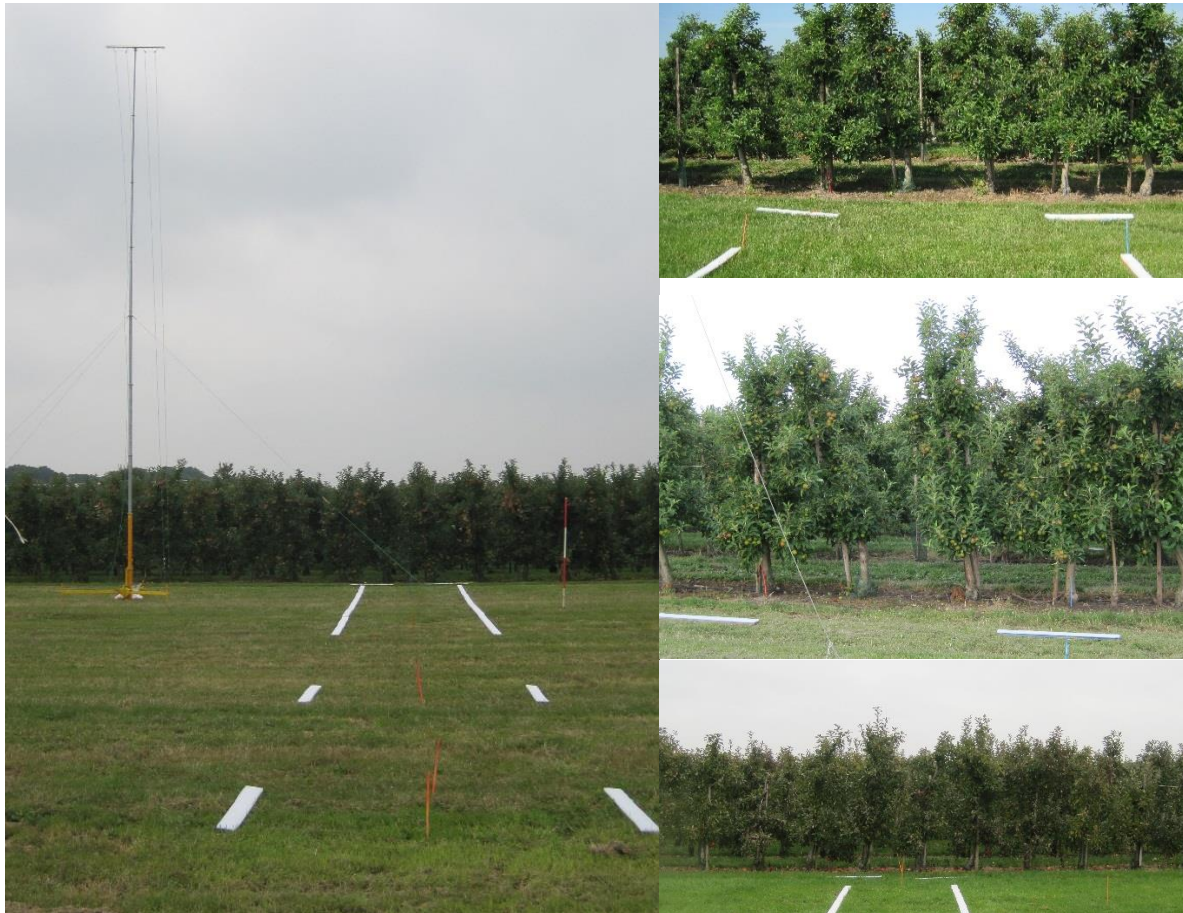
Figuur 2.7 Schematische weergave proefveld en meetopstelling.



Figuur 2.8 Bovenaanzicht proefveld (boven) en van de boomrijen en meetopstelling

2.4.2 Analyses

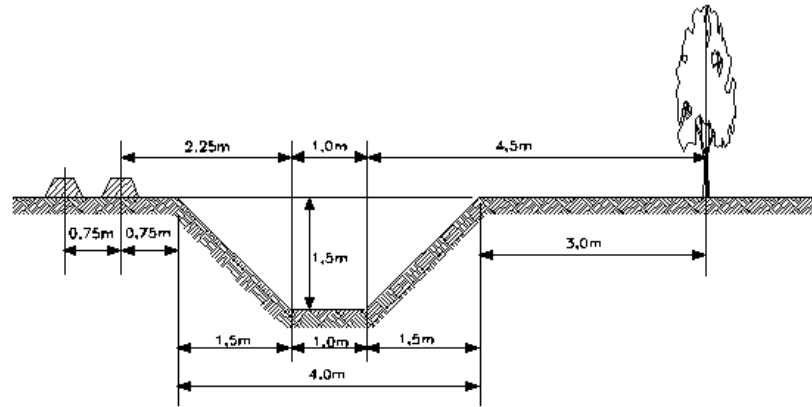
De bespuitingen werden uitgevoerd met water waaraan Acid Yellow 250 (AY250, DC Finechemicals, CAS nummer 93859-32-6, 2-5 g/l) en een niet-ionische uitvloeier (Agral Gold, 0,075 ml/l) was toegevoegd. Na de bespuiting werden de driftcollectoren verzameld en gecodeerd voor verdere analyse op de hoeveelheid AY250. Elke meetdag werden uit een spuitende spuitdop monsters van de tankvloeistof genomen om de AY250-concentratie van de verspoten spuitvloeistof te meten. In het laboratorium werden de collectoren met gedemineraliseerd water gespoeld, zodanig dat de AY250 op de driftcollectoren in oplossing kwam. Van deze oplossing werd de concentratie aan AY250 gemeten met behulp van een fluorimeter (Perkin Elmer FL 8500; $\lambda_{\text{ex}}=450$ nm; $\lambda_{\text{em}}=500$ nm). Voor het bepalen van de achtergrondfluorescentie werden blanco collectoren geanalyseerd. De concentratie AY250 in de tankmonsters werd ook fluorimetrisch bepaald.



Figuur 2.9 Overzicht drift meetopstelling (links); collectoren op de grond tot 25 m van de buitenste bomenrij; indruk van bladmassa appelbomen en collectoren dicht bij buitenste bomenrij op twee meetplekken (rechts).

2.5 Methode voor het schatten van het reductiepercentage

Voor de vergelijking van de driftdepositie van de Dominiak dwarsstroomspruit met de referentie machine zijn de driftwaarden (% van spuitvolume) uitgerekend voor de evaluatiestrook overeenkomend met de positie van de sloot (insteek-insteek afstand 4 m) en het wateroppervlak daarbinnen (1 m). De teeltvrije zone wordt in het Activiteitenbesluit Milieubeheer (I&W, 2017) gedefinieerd als de afstand tussen de insteek van de sloot en de buitenste gewasrij (voor fruitteelt 3 m in figuur 2.10). De evaluatiestrook is dan het gebied tussen 4.5 en 5.5 meter ten opzichte van het midden van de buitenste bomenrij.



Figuur 2.10 Schematische weergave van de plaats van de sloot, het talud en het wateroppervlak ten opzichte van de laatste gewasrij in aardappelen (links) en de buitenste bomenrij in de fruitteelt (rechts) (Huijsmans et al., 1997).

2.5.1 Globale beschrijving van de methode

Het doel van het onderzoek is om het percentage driftdepositie van een Test machine (T) op een bepaald afstandsinterval te vergelijken met het percentage deposities van een Referentie machine (R). Er mag verondersteld worden dat dit percentage, voor beide machines, monotoon afneemt met de afstand tot de bespoten boomgaard. Op afstand oneindig is de driftdepositie gelijk aan nul. Voor de Test machine blijkt een enkel exponentiële curve $P_1(x)$ in het algemeen goed te passen en voor de Referentie machine een dubbel exponentiële curve $P_2(x)$:

$$P_1(x) = \beta \exp(-\delta x)$$

$$P_2(x) = \beta_1 \exp(-\delta_1 x) + \beta_2 \exp(-\delta_2 x)$$

Deze functies zijn alleen monotoon afnemend als de parameters β en δ positief zijn. Het percentage depositie Q_M van een machine M in het afstand interval (x_a, x_b) wordt dan gegeven door de integraal

$$Q_M = \int_a^b P(x) dx$$

Het reductie percentage van machine T ten opzichte van machine R wordt gegeven door

$$\text{Reductie} = 100 - 100 Q_T / Q_R$$

Het percentage depositie van een gewasbeschermingsmiddel kan niet rechtstreeks worden gemeten. In plaats daarvan worden doeken (collectoren) van soms wisselende groottes op verschillende afstanden van een boomgaard gelegd. Vervolgens wordt de boomgaard bespoten met water waaraan een fluorescerende vloeistof is toegevoegd. De gemeten fluorescentie van met demi-water gespoelde doeken kan dan gebruikt worden om de afstand functies $P(x)$ voor de Test en Referentie machine te schatten waaruit vervolgens de reductie factor kan worden geschat inclusief een bijbehorend 95% betrouwbaarheidsinterval.

Een experiment waarin een Test en een Referentie machine worden vergeleken wordt binnen een zo kort mogelijke tijd als volgt uitgevoerd. Allereerst worden twee meetraaien met doeken op verschillende afstanden van de boomgaard neergelegd. De boomgaard wordt vervolgens bespoten door één van de twee machines. Na vervanging van de doeken door schone doeken wordt de boomgaard bespoten door de andere machine. De positie van de collectordoeken is dus identiek voor de Test en Referentie machine, maar de weersomstandigheden kunnen enigszins variëren. Voor elke meetraai worden de parameters van de exponentiële curve geschat, dus separaat voor de Test en de Referentie. Met behulp hiervan wordt voor elke meetraai het reductiepercentage geschat inclusief de bijbehorende standaardafwijking. Eén experiment geeft dus twee reductieschattingen (één per meetraai). Op deze wijze worden meerdere experimenten uitgevoerd, meestal op verschillende dagen maar soms ook op dezelfde dag.

De schattingen van het reductiepercentage voor elke meetraai worden gecombineerd tot één enkele schatting door een zogenaamde meta-analyse uit te voeren.

2.5.2 Gedetailleerde beschrijving van de methode

In onderstaande beschrijving worden de volgende symbolen gebruikt

F_{demi}	Gemeten fluorescentie van demiwater (eenheid: zie hieronder)
F_{doek}	Fluorescentie van een schone doek, wordt verondersteld constant te zijn
x_i	Afstand tot de buitenste bomenrij van de i -de doek (m)
A_i	Grootte van de i -de doek (m ²)
Y_i	Gemeten fluorescentie van de i -de doek
D_i	Verdunning behorende bij de meting Y_i
F_i	Fluorescentie van de spuitvloeistof op de i -de doek
P_i	Percentage depositie van de spuitvloeistof op de i -de doek (%)
X_{jk}	Geschatte reductiefactor voor meetraai k in experiment j (%)

De fluorescentie (zoals in bijlage 1) wordt uitgedrukt in een arbitraire eenheid, zoals afgelezen op de schaal van de fluorimeter.

De fluorescentie (Y_i) van met demi-water gespoelde doeken wordt gemeten. Deze meting is de som van de fluorescentie van de spuitvloeistof (F_i), van het demi-water (F_{demi}) en van de doek zelf (F_{doek}): $Y_i = (F_i + F_{doek} + F_{demi})$. In sommige gevallen, met name bij doeken op een korte afstand met een hoge depositie, is de fluorescentie te hoog om direct te kunnen meten. Dan wordt de spoelvloeistof verdund met een factor D_i ; daardoor worden zowel F_i als F_{doek} verdund, maar niet F_{demi} . De fluorescentie meting die dan resulteert is voor

$$Y_i = (F_i/D_i + F_{doek}/D_i + F_{demi})$$

Daaruit volgt dat de fluorescentie zou zijn als er niet verdund was:

$$F_i = D_i (Y_i - F_{demi}) - F_{doek}$$

Om van fluorescentie van de spuitvloeistof naar driftdepositie te komen wordt gecorrigeerd voor een ijkconstante K , een spoelvolume V_s , de concentratie van het middel in de tank C en het oppervlakte van de doek A_i . De depositie van het middel op de doek is dan gelijk $(F_i K V)/(C A)$. Tenslotte vindt nog een correctie plaats voor de veldafgifte Q_v waardoor een percentage depositie P_i wordt verkregen:

$$P_i = F_i \frac{(K V_s)/(C A_i)}{(Q_v/100)} \times 100\%$$

Hieruit volgt dat de relatie tussen de fluorescentiemeting Y_i en het percentage depositie P_i gegeven wordt door

$$Y_i = (Z_i/D_i) P_i + F_{doek}/D_i + F_{demi} \quad \text{met} \quad Z_i = (Q C A_i)/(10000 K V)$$

Veronderstellen we nu een (enkel) exponentiële curve voor het percentage P_i , dan volgt:

$$Y_i = (Z_i/D_i) \beta \exp(-\delta x_i) + F_{doek}/D_i + F_{demi}$$

of, equivalent, met voor doek gecorrigeerde fluorescentie waarnemingen Y_i^*

$$Y_i^* = Y_i - F_{doek}/D_i = (Z_i/D_i) \beta \exp(-\delta x_i) + F_{demi}$$

Voor de dubbel exponentiële curve zijn vergelijkbare betrekkingen af te leiden.

De gecorrigeerde waargenomen fluorescenties Y_i^* worden, samen met herhaalde waarnemingen aan demi-water die uitgevoerd zijn in dezelfde meetreeks, gebruikt om de parameters β en δ van de curve $P(x)$ en de parameter F_{demi} te schatten. Dit wordt separaat gedaan voor de Test en de Referentie machine en separaat voor elke meetraai omdat de fluorescenties van de doeken van beide machines in de regel op verschillende dagen of in verschillende meetreeksen zijn gemeten. Voor waarnemingen aan Test machines is een enkel exponentiële curve $P_1(x)$ gebruikt, voor de Referentie machines een dubbel exponentiële curve $P_2(x)$. Omdat de variatie in de waarnemingen Y_i^* toeneemt met het niveau worden gamma verdeelde fouten verondersteld bij het aanpassen van de exponentiële curven. De geschatte parameters, en hun standaardafwijkingen, worden vervolgens gebruikt om voor elke meetraai de reductiefactor te schatten inclusief een 95% betrouwbaarheidsinterval. Dit interval wordt verkregen door toepassing van de zogenaamde deltamethode op de logitschaal waarna het interval terug-getransformeerd wordt naar de percentageschaal.

De integraal Q_M voor de enkel en dubbel exponentiële curve tussen a (4.5 m) en b (5.5 m) wordt gegeven door

$$Q_1 = \beta [\exp(-\delta a) - \exp(-\delta b)]/\delta$$

$$Q_2 = \beta_1 [\exp(-\delta_1 a) - \exp(-\delta_1 b)]/\delta_1 + \beta_2 [\exp(-\delta_2 a) - \exp(-\delta_2 b)]/\delta_2$$

2.5.3 Meta-analyse

De geschatte reductiefactoren X_{jk} met bijbehorende varianties V_{jk} worden onderworpen aan een meta-analyse om zo tot één enkele schatting te komen van de reductiefactor van een Test machine. Hierbij worden de individuele schattingen gewogen met hun standaardafwijking waardoor nauwkeurige schattingen (met een kleiner betrouwbaarheidsinterval) zwaarder wegen dan onnauwkeurige schattingen. De meta-analyse wordt uitgevoerd op de logit-getransformeerde reductiefactoren omdat normaliteit op de logitschaal beter gewaarborgd is dan op de percentageschaal, met name als de reducties dichtbij de 100% liggen. In de analyse wordt een onderscheid gemaakt in de variatie tussen experimenten en de variatie tussen meetraaien binnen een experiment. De meta-analyse wordt uitgevoerd met het R package "metafor" met de volgende programma regel:

```
rma.mv(yi = logit_Xjk, V = logit_Vjk, random = ~ 1 | experiment/meetraai)
```

De geschatte constante in dit metamodel en het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval worden vervolgens terug-getransformeerd naar de percentageschaal en dat geeft het uiteindelijke resultaat van de statistische analyse.

2.5.4 Opmerkingen bij de methode

1. In bovenstaande benadering worden de gemeten fluorescenties zelf gemodelleerd waarbij de achtergrond fluorescentie F_{demi} een onderdeel is van het statistische model.
2. In de berekening van de gecorrigeerde fluorescentie Y_i^* wordt verondersteld dat de fluorescentie F_{doek} van een doek bekend is. Deze is echter ook gemeten en bevat dus meetvariatie. F_{doek} is echter klein, kleiner dan 500, ten opzichte van de gemeten fluorescenties Y_i die in het algemeen groter zijn dan 8000. Daarom mag veilig verondersteld worden dat F_{doek} bekend is (d.w.z. de variatie erin mag verwaarloosd worden).
3. Voor experimenten uitgevoerd in 2021 en 2022 worden doekwaarden gebruikt van 340 en 125. De precieze waarde van F_{doek} heeft een zeer beperkte invloed op de uiteindelijke resultaten (opmerking 2).
4. Doeken van de twee meetraaien van een Test machine in hetzelfde experiment worden in één fluorescentie meetreeks geanalyseerd met de fluorimeter. Doeken van de meetraaien van een Referentie machine vormen ook één meetreeks, maar deze meetreeks kan op een

andere dag zijn geanalyseerd. In elke meetreeks wordt ook de ijkfactor K bepaald (een karakteristieke waarde van de fluorimeter, welke van dag tot dag iets kan variëren); deze wordt voor de betreffende meetreeks constant verondersteld. Ook wordt in elke meetreeks een aantal, meestal 4, herhaalde fluorescentiewaarnemingen aan demi-water gedaan.

5. Sommige fluorescenties zijn gemeten na een verdunning waardoor de metingen niet goed vergelijkbaar zijn met de andere (onverdunde) fluorescenties. Daarom worden in de grafieken met de aangepaste exponentiële curves de verdunde metingen weergegeven als $D_i (F_i - M) + M$ waarin M het gemiddelde is van de demi-water fluorescenties in de betreffende meetreeks.
6. Voor één referentie meetreeks, gecodeerd 8b-5 2022-1/1, bleek de schatting voor een van de β 's negatief. Dat resulteerde in een niet monotone curve die door de asymptoot zakt en vervolgens van onderaf de asymptoot nadert. Voor relevante afstanden past de curve echter zeer goed en daarom vormt dit geen probleem.
7. In de schattingsmethode wordt niet δ zelf geschat maar δ^* met $\delta = \exp(\delta^*)$. Hierdoor is de schatting voor δ altijd positief. Voor Referentie machines, met een dubbel exponentiële curve, bleek de schatting voor de kleinste δ^* soms naar min oneindig te gaan, en δ zelf dus naar nul, met problemen voor het algoritme om de curve aan te passen. Daarom is er een ondergrens gehanteerd van 0.001 voor δ . Een dergelijk kleine waarde geeft een zeer langzame convergentie naar de asymptoot van de exponentiële curve voor Y_i^* .
8. De meta-analyse van de reductiefactoren geeft aan dat het zinvol is om een onderscheid te maken in de variantie tussen experimenten en de variantie binnen experimenten. De (geschatte) correlatie tussen reducties in hetzelfde experiment is 0.58.

In Bijlage 1 worden voor alle experimenten grafieken getoond met daarin de meetwaarden en gefitte curves van het statistische model.

In bijlage 3 zijn de gefitte curves per herhaling omgerekend naar de drift depositie, uitgezet tegen de afstand van de boomgaard. Dit is dus de geschatte driftdepositie van de referentie en de test machine apart van elkaar.

2.6 Weersomstandigheden

Tijdens de bespuitingen werden de weersomstandigheden vastgelegd door meting van de temperatuur (Pt100 op 0,5 m en 4 m hoogte), de luchtvochtigheid (% RV met een Rhotronic op 1,5 m hoogte), de windrichting (0° = haaks t.o.v. de bomenrijen) op 10 m hoogte en de windsnelheid (cupanemometers op 0,5, 2, 3, 4 en 10 m hoogte) met een tijdsinterval van 5 seconden.

De meteomast stond op 7,5 m afstand vanaf de buitenste bomenrij (figuur 2.6). Bij elke passage van de spuit ter hoogte de meetopstellingen werd de tijd van de datalogger genoteerd. Later werd uit de verzamelde data vanuit dit passagetijdstip over 10 seconden vóór en 10 seconden ná passeertijdstip de meetwaarde gemiddeld. In Bijlage II staan de resultaten van de metingen van de weersomstandigheden vermeld.

De experimenten werden uitgevoerd in 2021 en 2022. In 2021 was dat op 18 en 19 november (beide 2x). In 2022 werden de metingen uitgevoerd op 10 (2x) en 22 juni en op 1 juli. In totaal werden 8 herhalingen gemeten.

De gemiddelde weersomstandigheden van de metingen (8 herhalingen) staan in tabel 2.5.

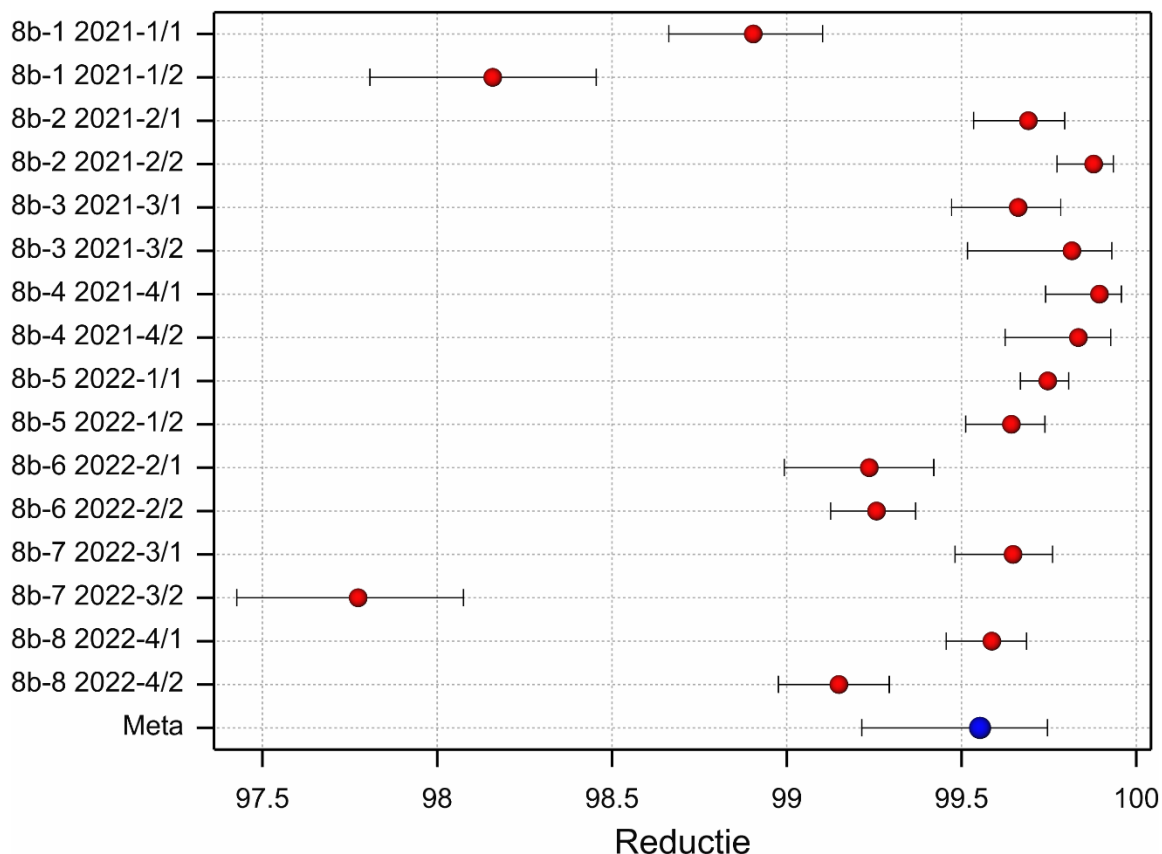
Tabel 2.5 Gemiddelde weersomstandigheden voor de verschillende technieken tijdens de driftmetingen.

techniek	n-herhalingen	temperatuur [°C] op		% RV	windhoek tov haaks	windsnelheid [m/s] op				
		0,5 m	4 m			0,5 m	2 m	3 m	4 m	10 m
Standaard	8	17,2	16,2	65	-18	0,9	1,6	2,2	2,6	4,2
Dominiak	8	17,3	16,6	65	-14	0,9	1,6	2,3	2,6	4,2
gemiddeld		17,3	16,4	65	-16	0,9	1,6	2,2	2,6	4,2

Tijdens de driftmetingen was de gemiddelde temperatuur 16,4 °C (op 4 m hoogte), de gemiddelde windhoek -16° ten opzichte van loodrecht op de bomenrij en de gemiddelde windsnelheid op 2 m hoogte 1,6 m/s en op 4 m hoogte (ongeveer 1 m boven de bomen) 2,6 m/s.

3 Resultaten

De gemeten driftreductie op de evaluatiestrook (4,5-5,5 m) tijdens bespuitingen in de volblad situatie (BBCH 75-91) staat weergegeven in figuur 3.1, de getallen staan in bijlage 1.



Figuur 3.1 De driftreductie op de evaluatiestrook van de verschillende herhalingen van de meting. Elke meetraai is apart weergegeven, 2 waardes per meting. De meetraaien zijn gecodeerd als: object nr – herhaling – jaar - herhaling binnen jaar / meetraai. Voor elke meting is de geschatte reductie inclusief een 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven. De meta-analyse geeft een geschatte (gemiddelde) driftreductie van 99.6%.

De Dominiak dwarsstroomspuit, Teejet AI 80-02 VS doppen bij 2 bar, 270 rpm aftakas toeren, de versnellingsbak van de luchtondersteuning in stand 1, de buitenste bomenrij eenzijdig bespoten (alleen perceel inwaarts) en met de buitenste 6 werkgangen de luchtondersteuning volgens een vast randrijprotocol, geeft in alle herhalingen meer dan 97.7% driftreductie ten opzichte van de referentie machine. Gemiddeld genomen is de driftreductie 99.6% (betrouwbaarheidsinterval 99.2 – 99.7). De Test en Referentie machine zijn significant verschillend bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

4 Discussie en conclusie

Bij driftmetingen tijdens bespuitingen van een appelboomgaard in het volblad stadium (BBCH 75-91) met de Dominiak dwarsstroomspuit, Teejet AI 80-02 VS doppen bij 2 bar, 270 rpm aftakas toeren, de versnellingsbak van de luchtondersteuning in stand 1, de buitenste bomenrij eenzijdig bespoten (alleen perceel inwaarts) en met de buitenste 6 werkgangen de luchtondersteuning volgens een vast randrijprotocol, werd in vergelijking met een referentie boomgaard bespuiting bij een 3 m teeltvrije zone op de strook 4½-5½ m vanaf de buitenste bomenrij een driftreductie gevonden van 99.6%.

De geschatte driftreductie van de Dominiak dwarsstroomspuit ten opzichte van een referentie machine is gelijk aan 99.6% op de evaluatiestrook 4,5-5,5 m vanaf de buitenste bomenrij. Het 95% betrouwbaarheidsinterval loopt daarbij van 99.3% tot, 99.7%. Deze driftreductie is gebaseerd op herhaalde bespuitingen van een appelboomgaard in het volbladstadium (BBCH 75-91). De specificaties van de gebruikte Dominiak dwarsstroomspuit zijn als volgt: Teejet AI 80-02 VS doppen bij 2 bar, 270 rpm aftakas toeren, de versnellingsbak van de luchtondersteuning in stand 1, de buitenste bomenrij eenzijdig bespoten (alleen perceel inwaarts) en met de buitenste 6 werkgangen de luchtondersteuning volgens een vast randrijprotocol.

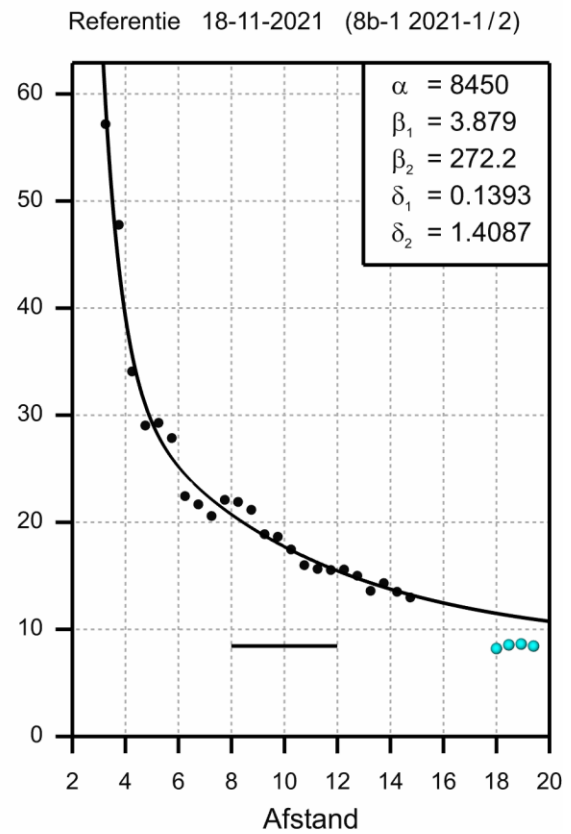
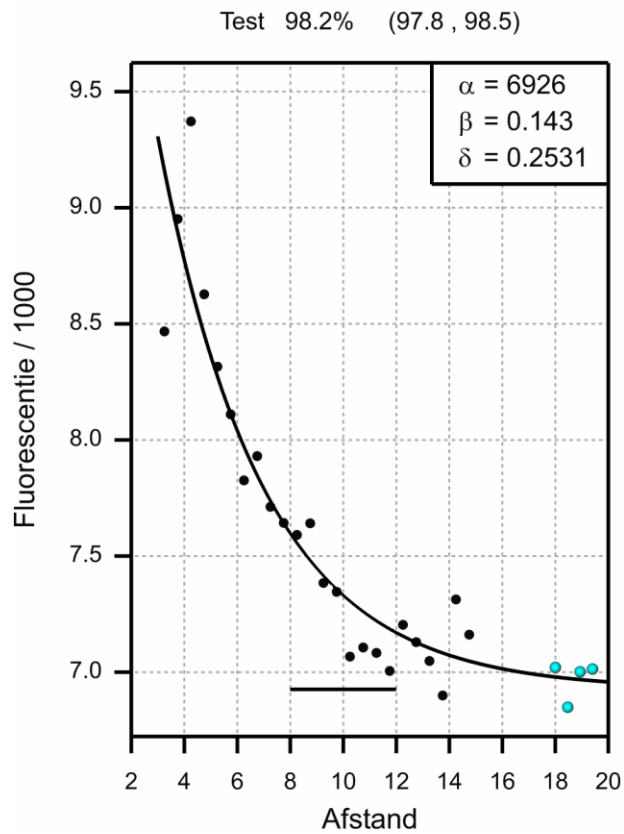
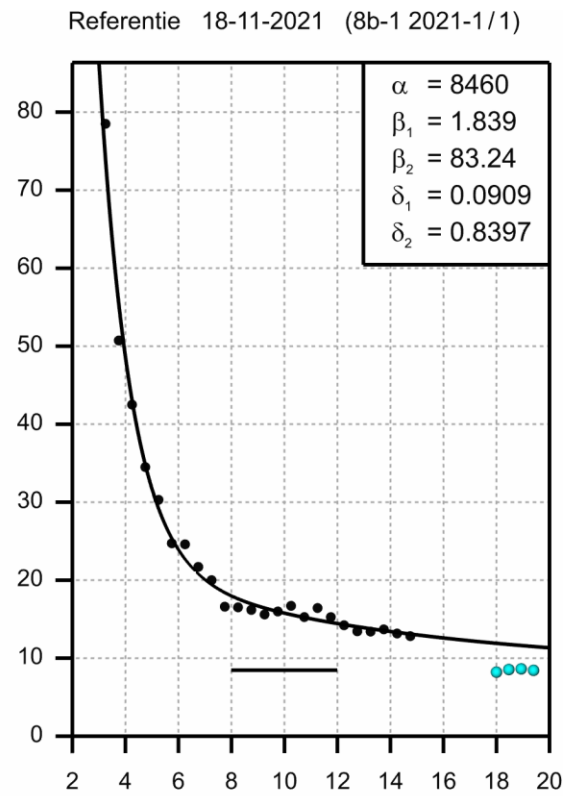
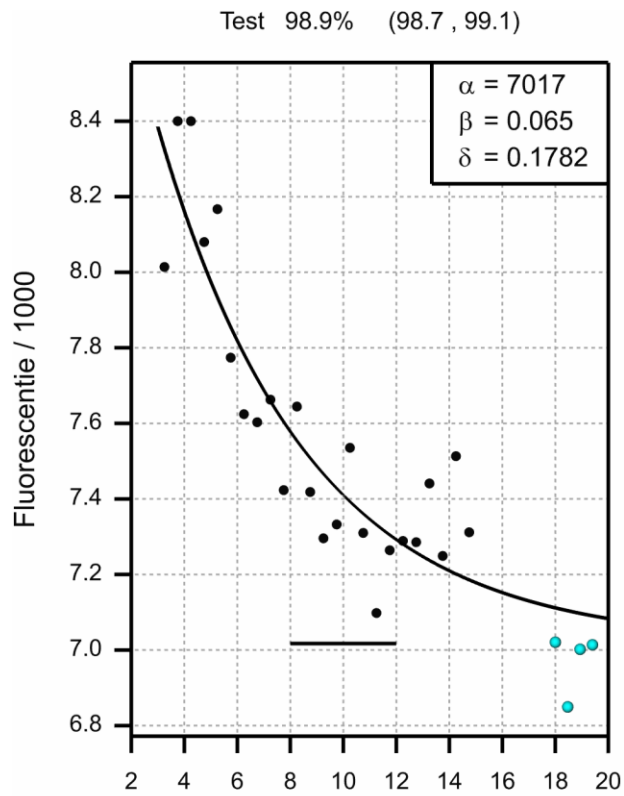
Literatuur

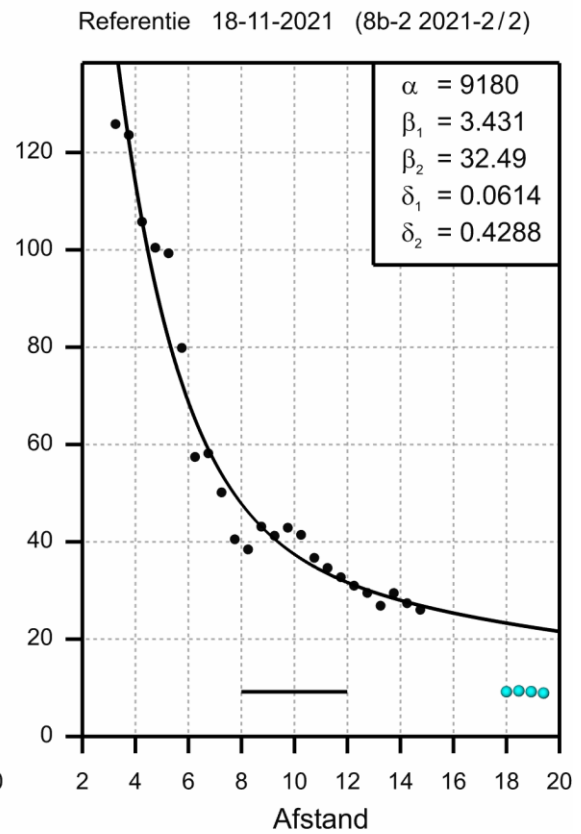
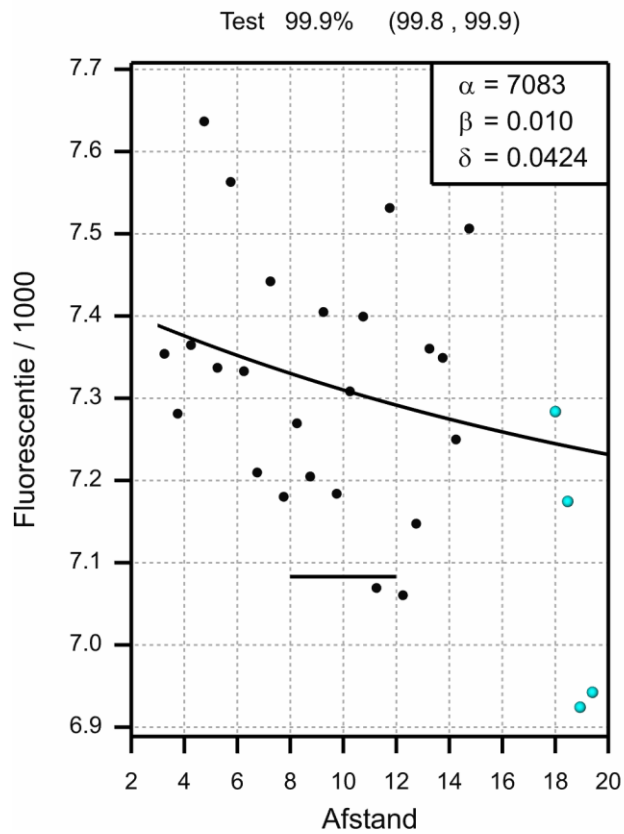
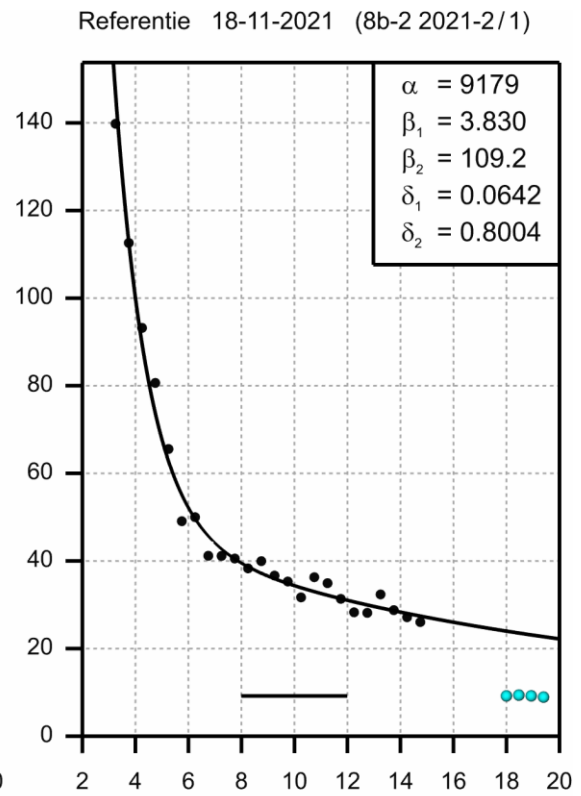
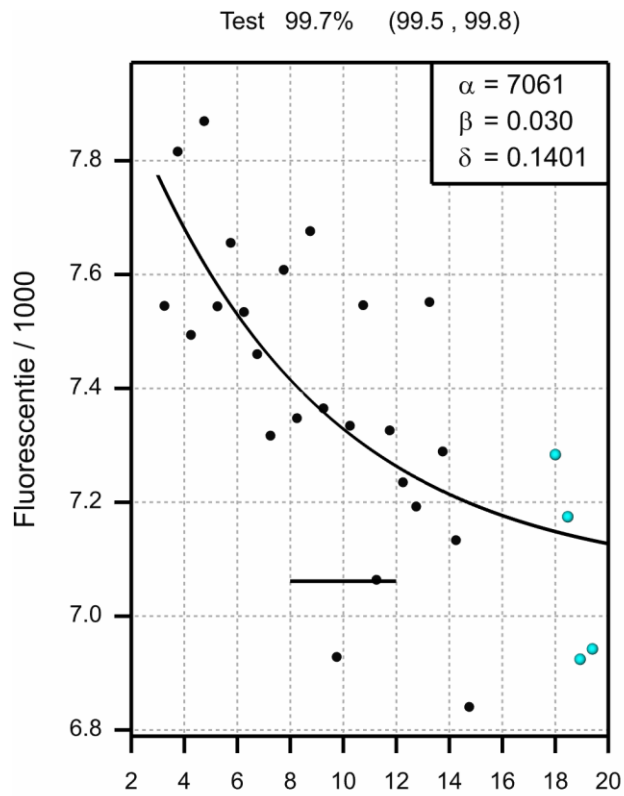
- Ctgb, 2021. Evaluation Manual for the Authorisation of Plant protection products and Biocides according to Regulation (EC) No 1107/2009 NL part Plant protection products Chapter 6 Fate and behaviour in the environment: behaviour in surface water and sediment version 2.6; August 2021. <http://www.ctgb.nl/>
- EZ, 2013. Gezonde Groei, Duurzame Oogst. Tweede nota duurzame gewasbescherming, periode 2013 tot 2023. Ministerie van Economische Zaken, Den Haag. 2013. 46p.
- Gezondheidsraad, 2014. Gewasbescherming en omwonenden. Gezondheidsraad, publicatienr. 2014/02, Den Haag. 2014. 194p.
- Huijsmans, J.F.M., H.A.J. Porskamp & 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&W, 2017. Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, van 10 november 2017, nr. IENM/BSK-2017/254105, tot wijziging van de Activiteitenregeling in verband met de vermindering van emissies van gewasbeschermingsmiddelen in de glastuinbouw en open teelten. Staatscourant 2017 Nr. 60506
- ISO 22866, 2005. Equipment for crop protection – Methods for the field measurement of spray drift. International Standardisation Organisation, Geneva. 2005.
- ISO-22369, 2006. Crop protection equipment – Drift classification of spraying equipment. Part 1. Classes. International Organization for Standardization, Geneva.
- Michielsen, J.M.G.P., Wenneker, M., Zande, JC van de & Heijne, B., 2007. Contribution of individual row sprayings to airborne drift spraying an apple orchard. In: E. Gil, F. Solanelles, S. Planas, J.R. Rossell & L. Val (eds). 8th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing June 2005 Barcelona, Book of Abstracts, Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Universitat de Lleida, Barcelona, 2007. p.37-46
- TCT, 2017. Meetprotocol vaststellen driftreductie spuittechnieken [versie 1 juli 2017]. [<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/>]
- TCT, 2021. Lijst met indeling van spuittechnieken in Driftreducerende Techniek-klassen (DRT-klassen) (DRT lijst). Versie 4 april 2022. [<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/>]
- TCT, 2022. Lijst met indeling van spuitdoppen in Driftreducerende Dop-klassen (DRD-klassen) (DRD-lijst). Versie 16 mei 2022. [<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/open-teelt/driftreducerende/>]
- Zande, J.C. van de, M.C. Butler Ellis, M. Wenneker, P.J. Walklate & M. Kennedy, 2014. Spray drift and bystander risk from fruit crop spraying. International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology 122, 2014. p. 177-186.

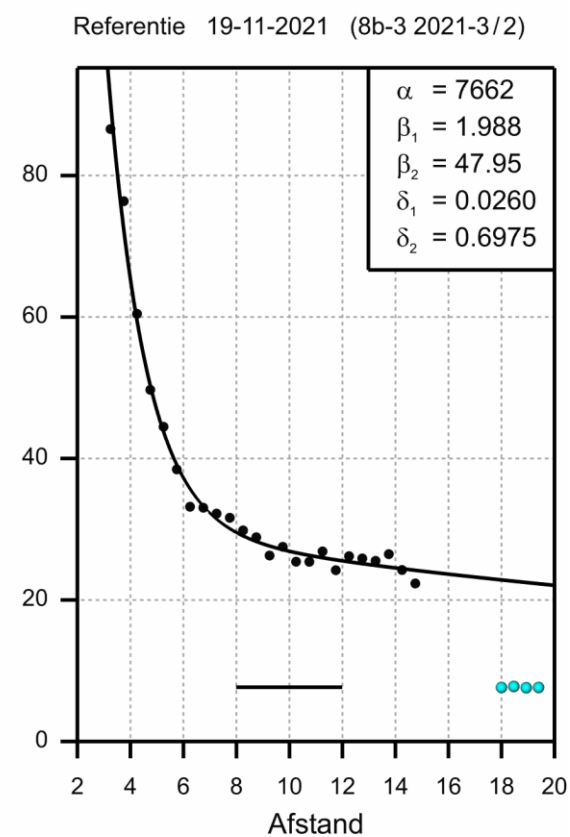
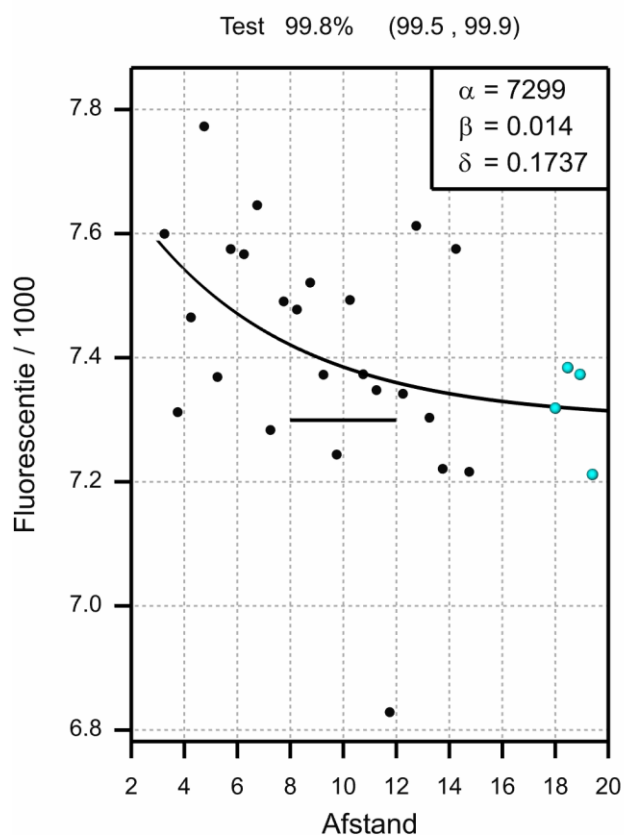
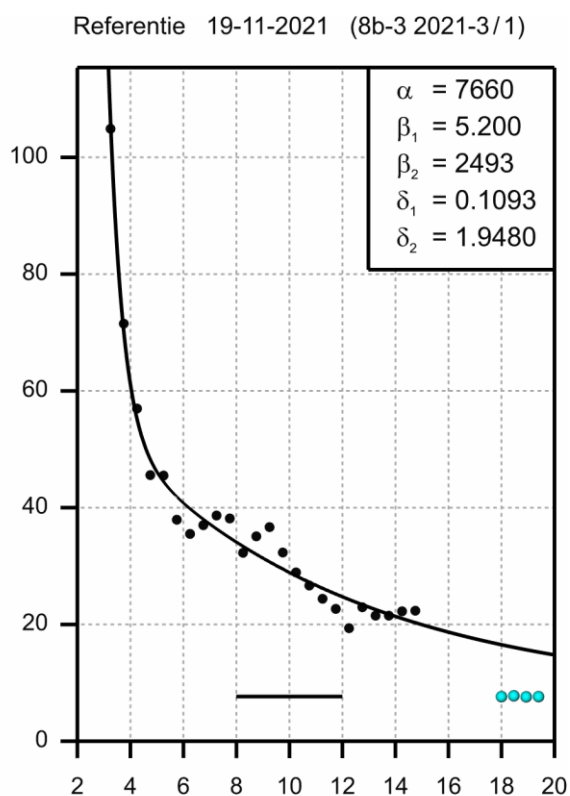
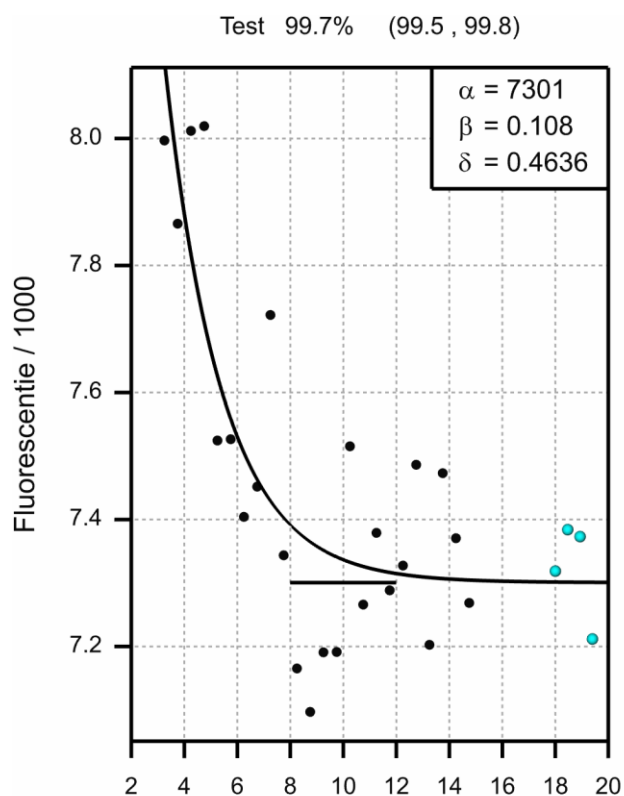
Bijlage 1 Geschatte exponentiële curves

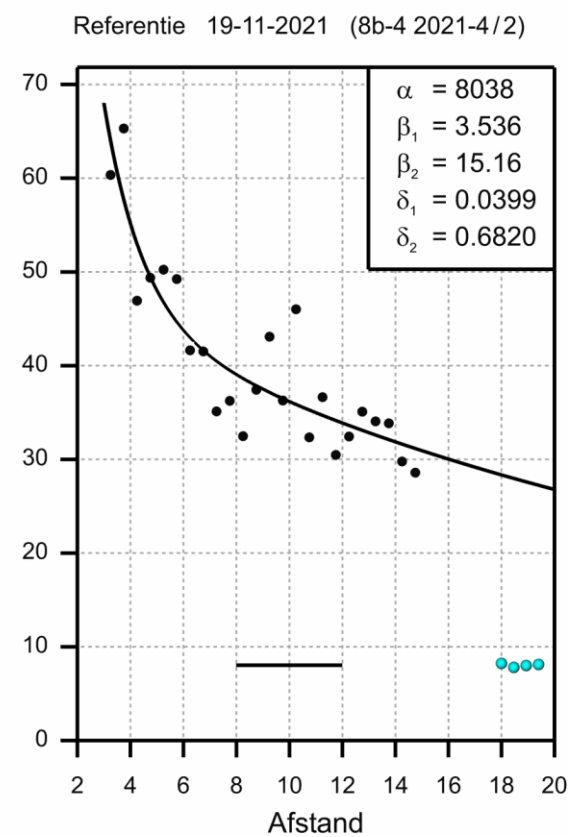
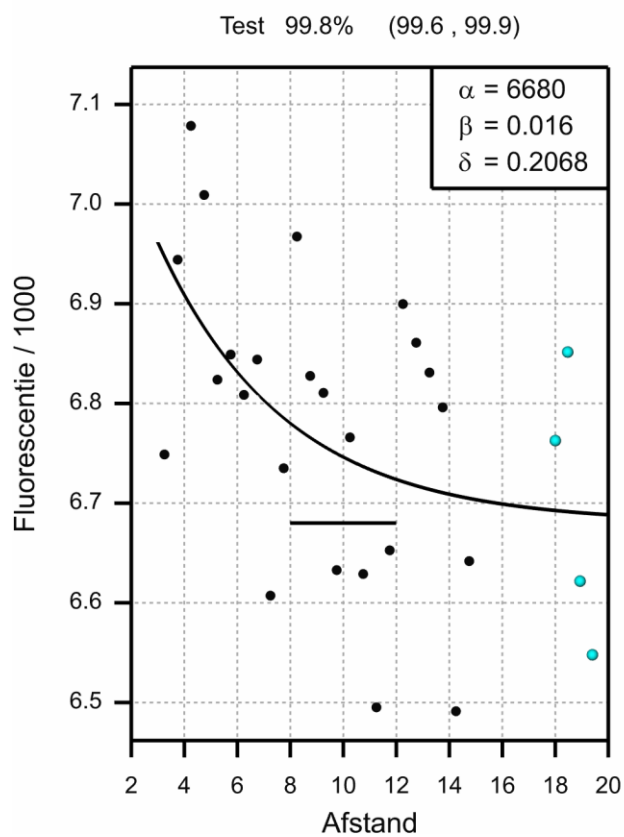
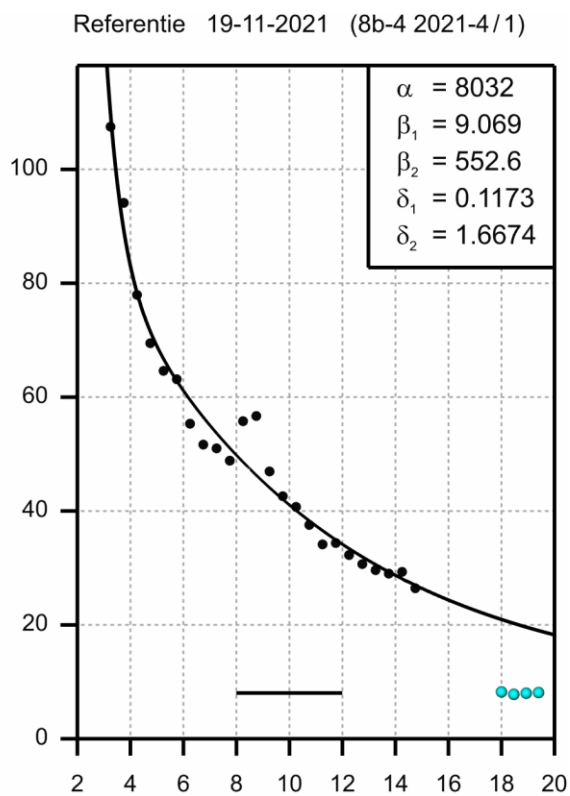
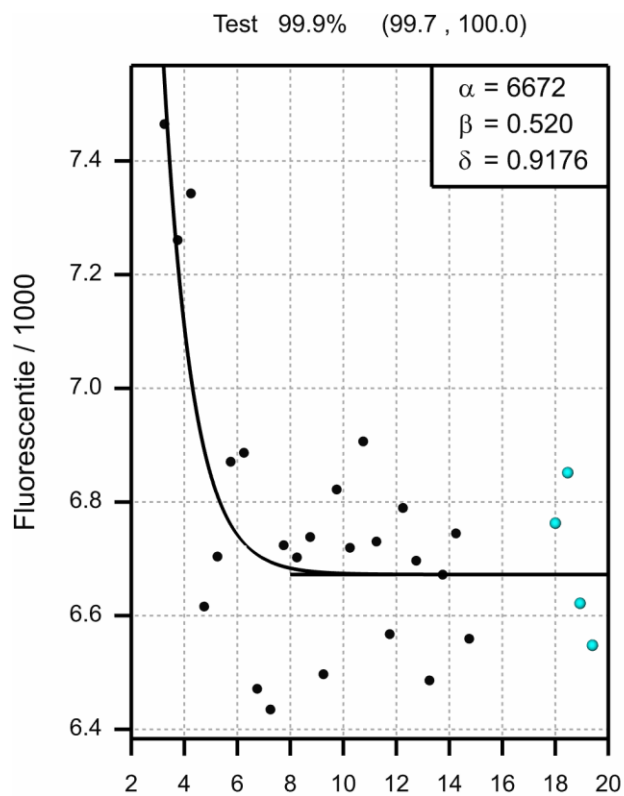
Op elke pagina staat 1 meting, boven de figuren voor meetraai 1, onder voor meetraai 2. Links staan de figuren voor de test machine en rechts voor de bijbehorende referentie. Boven de test figuren staat de geschatte driftreductie voor de specifieke meetraai en, tussen haakjes, het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval. Boven de referentie figuur staat de datum van de meting en het nummer van de meting (tussen haakjes, objectnummer – herhaling totaal – jaartal - herhaling binnen jaar / meetraai).

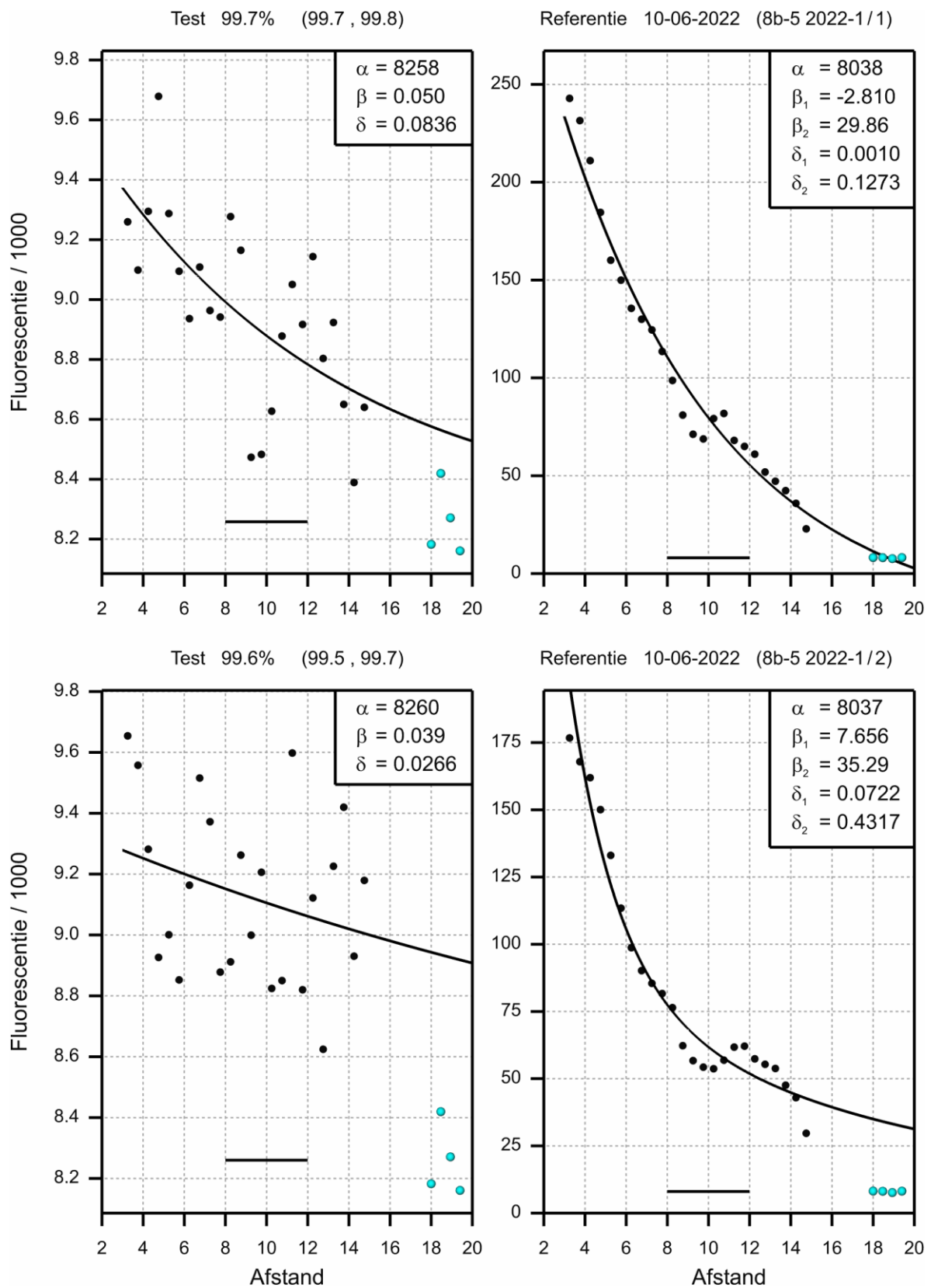
In elke figuur staan de geschatte parameters van de curve in de rechterbovenhoek. De meetwaarden zijn de zwarte bollen, eventuele rode bollen zijn weggelaten meetwaarden, de blauwe bollen zijn de demi water waardes behorende bij de betreffende meting, de afstand waarop deze zijn weergegeven is fictief, de bijbehorende afstand conform het exponentiële model is eigenlijk oneindig. Het zwarte streepje wat van 8 tot 12 meter in de figuren is weergegeven is de asymptoot waar de gefitte lijn naartoe loopt, dit komt overeen met de alpha parameter.



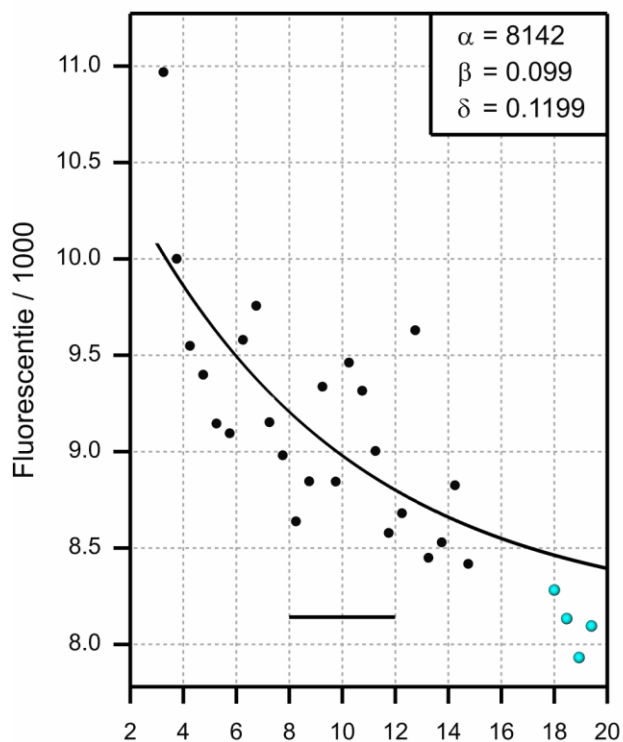




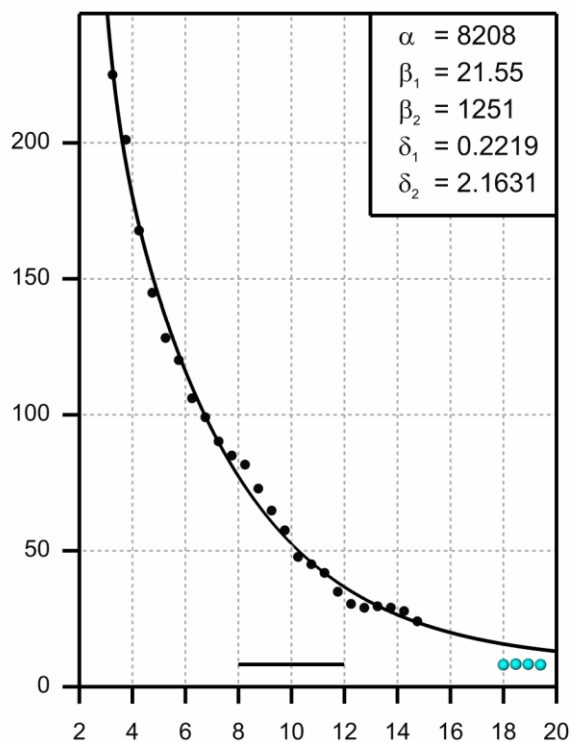




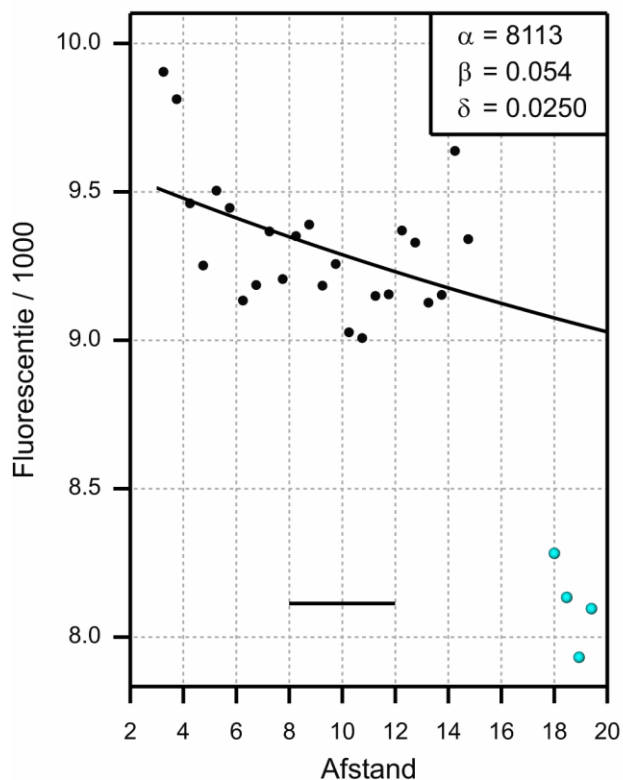
Test 99.2% (99.0 , 99.4)



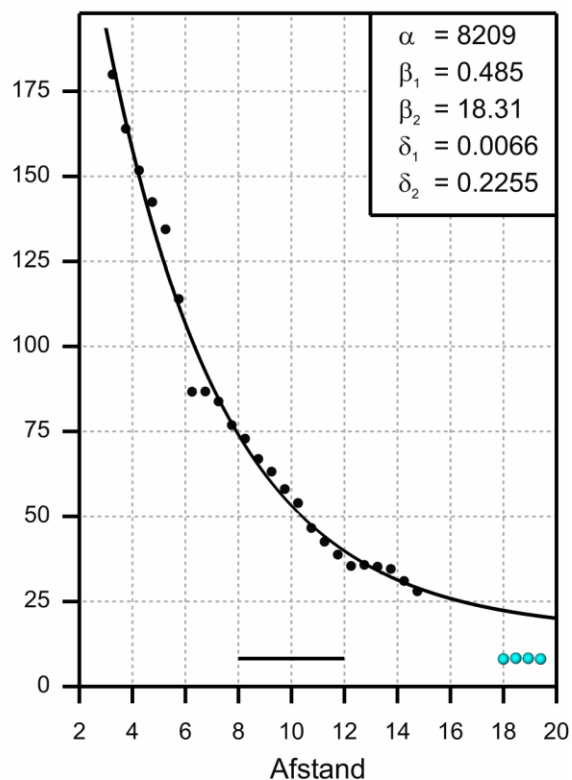
Referentie 10-06-2022 (8b-6 2022-2/1)

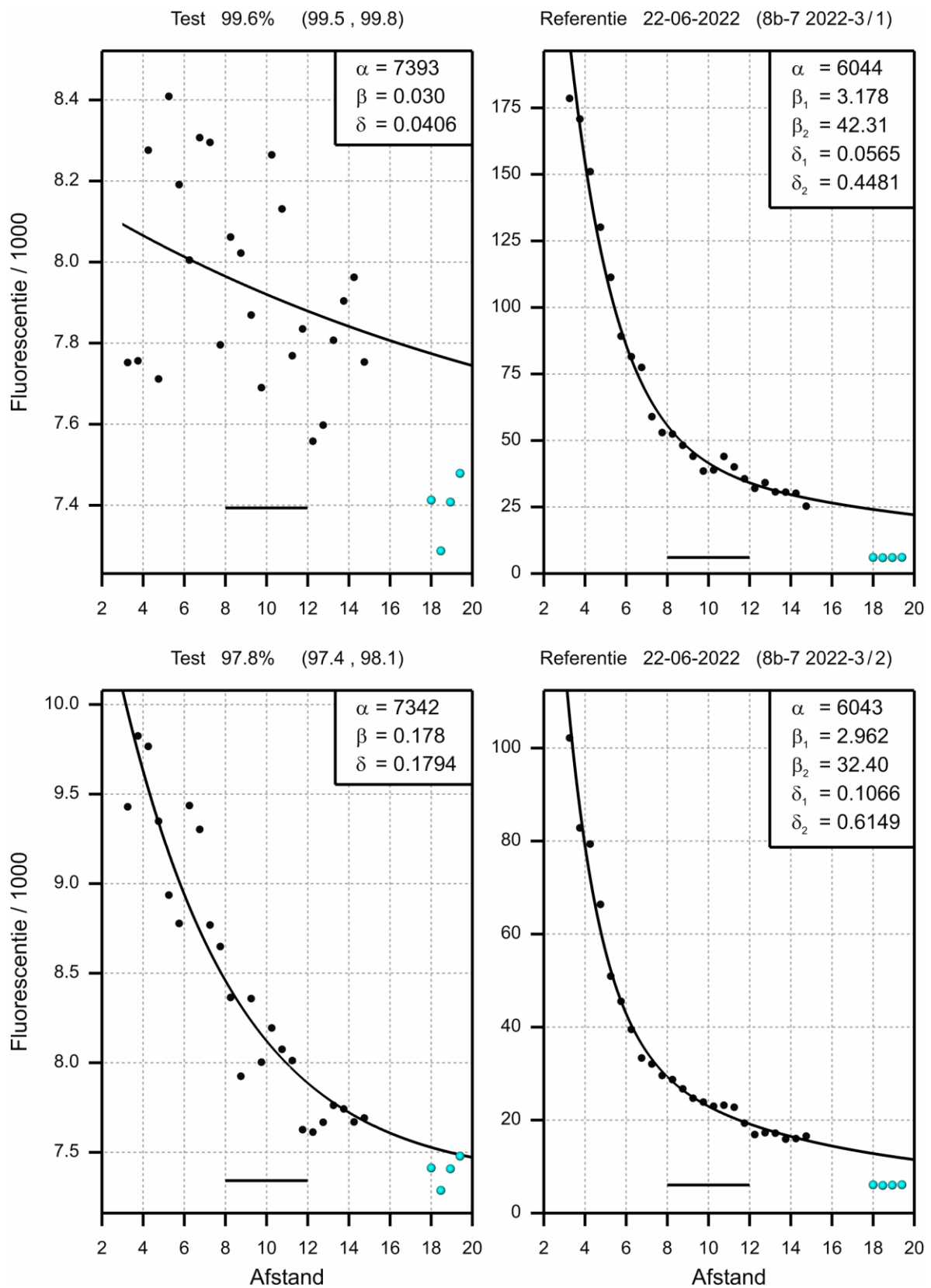


Test 99.3% (99.1 , 99.4)

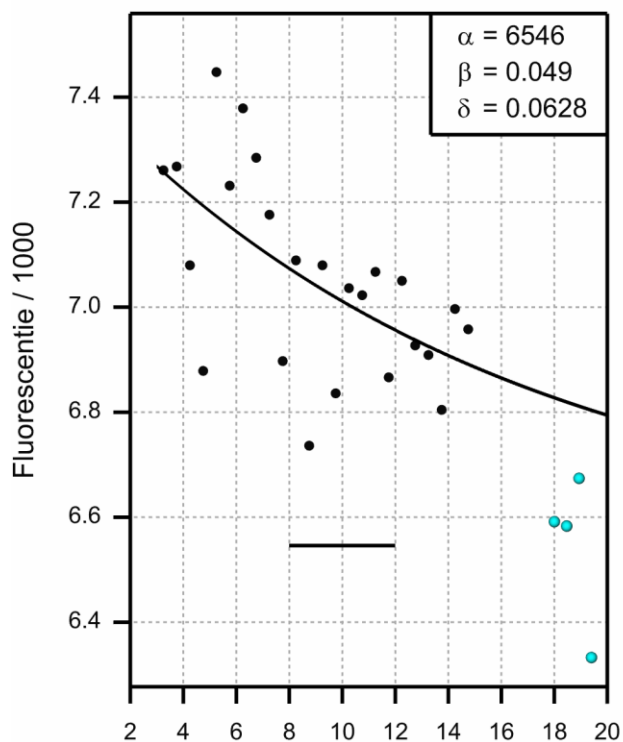


Referentie 10-06-2022 (8b-6 2022-2/2)

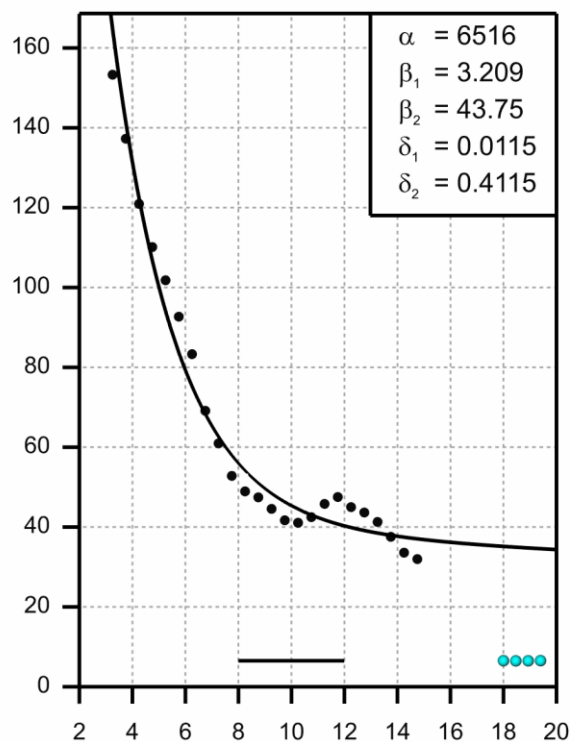




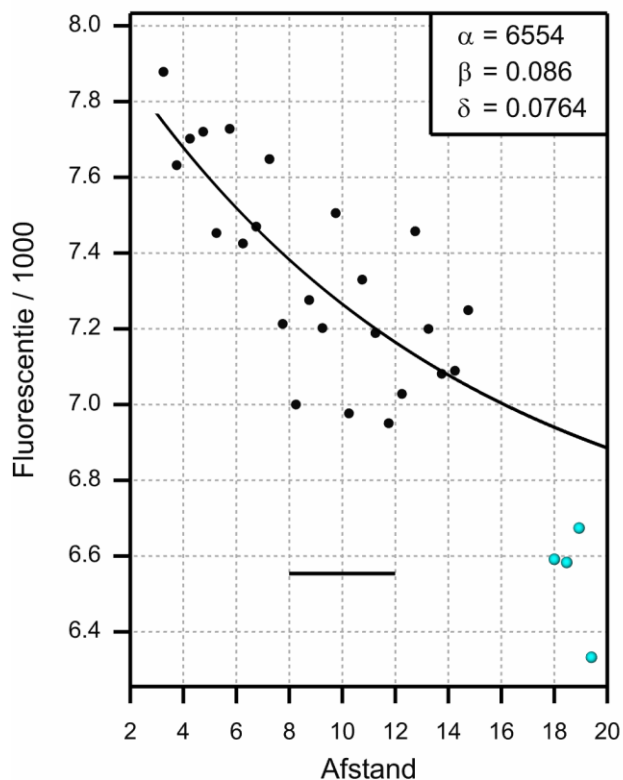
Test 99.6% (99.5 , 99.7)



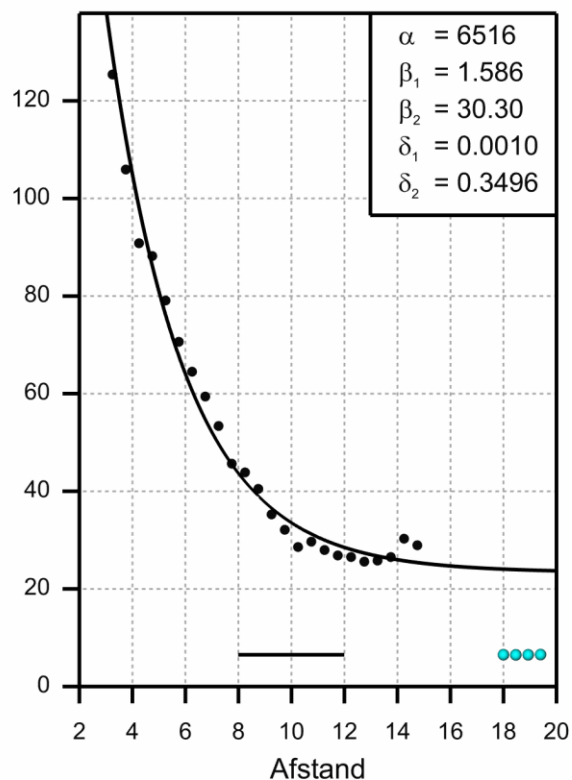
Referentie 01-07-2022 (8b-8 2022-4/1)



Test 99.1% (99.0 , 99.3)



Referentie 01-07-2022 (8b-8 2022-4/2)



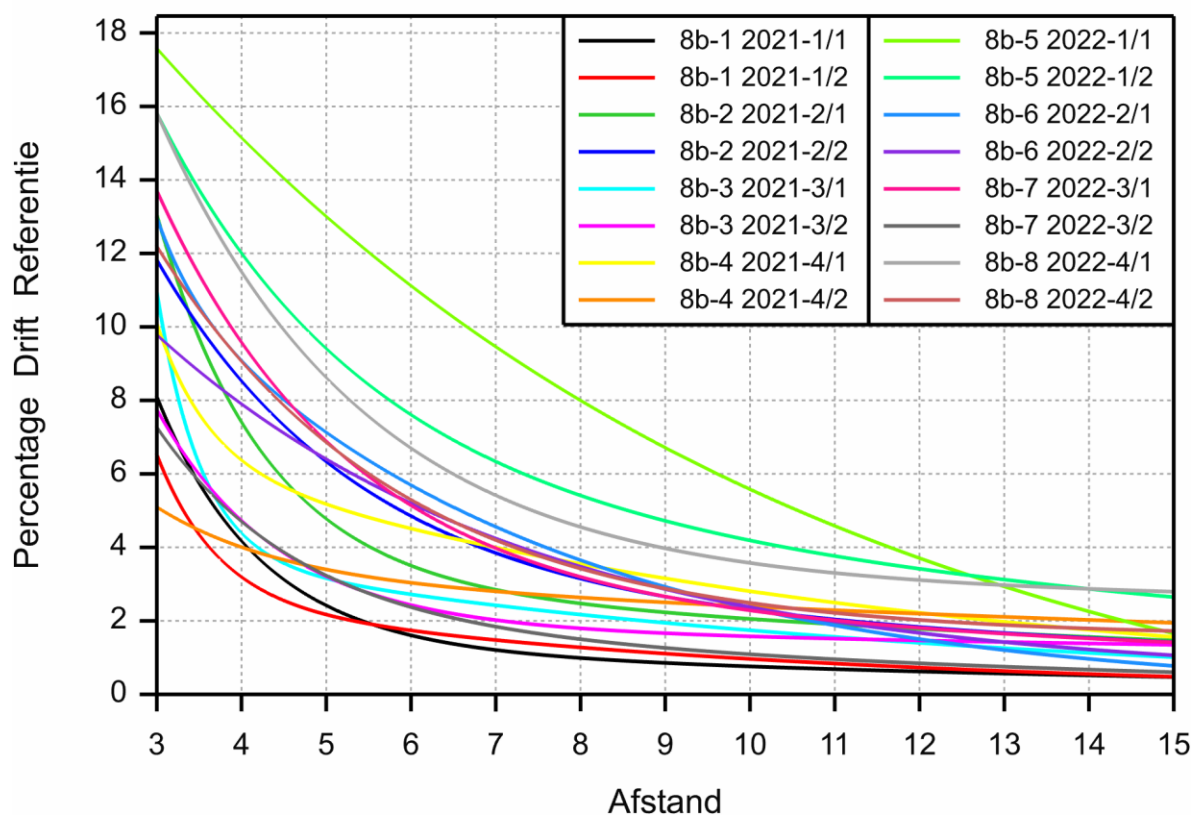
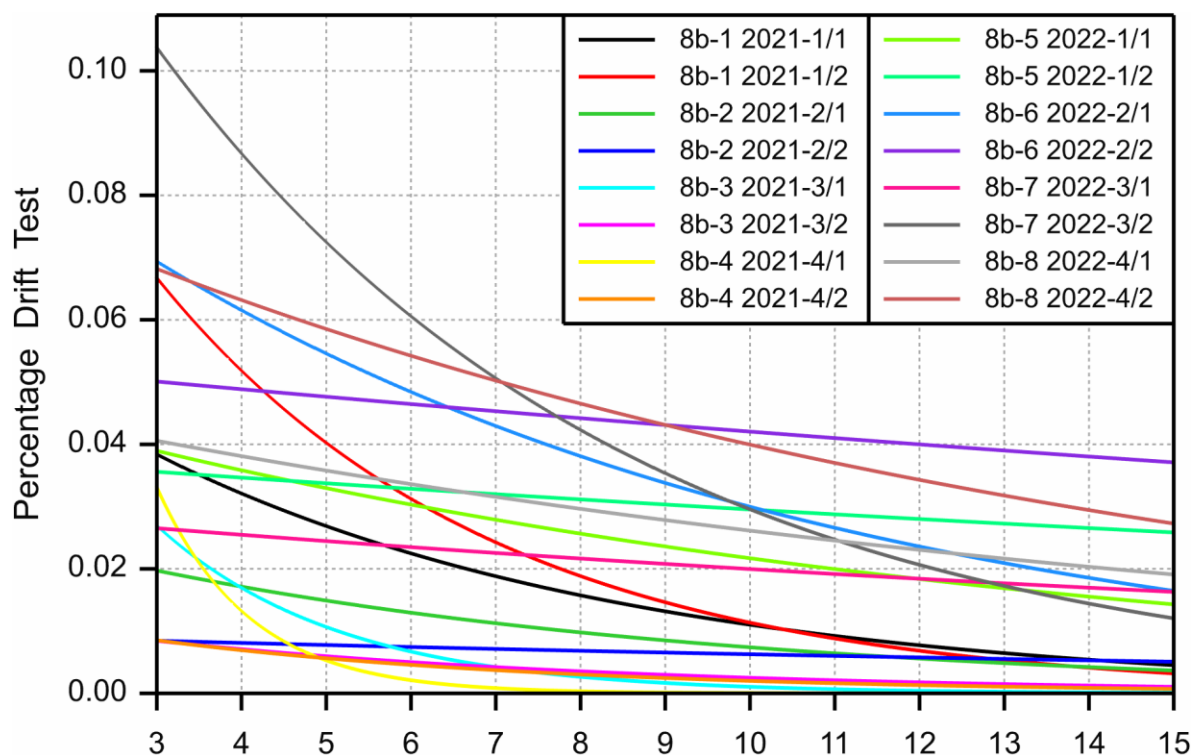
Bijlage 2 Weersomstandigheden tijdens de driftmetingen

techniek	datum		temperatuur [°C] op		RV	windhoek tov haaks	windsnelheid [m/s] op				
Object	Datum	#	0,5 m	4 m	%	haaks=0°	0,5 m	2 m	3 m	4 m	10 m
Standaard	18-nov-21	1	11,7	10,0	71	-25	0,9	1,2	2,0	2,5	4,9
	18-nov-21	2	11,0	11,0	72	-15	1,0	2,0	2,9	3,4	5,3
	19-nov-21	3	11,0	11,0	91	-22	0,5	1,4	2,1	2,5	3,8
	19-nov-21	4	13,0	12,0	84	-14	0,7	1,1	1,9	2,2	3,8
	10-jun-22	5	21,2	20,3	61	-20	0,8	1,4	2,0	2,4	3,5
	10-jun-22	6	21,8	21,0	58	-15	1,0	1,5	2,1	2,5	3,9
	22-jun-22	7	26,8	24,8	29	-4	0,7	1,3	1,7	2,1	3,2
	01-jul-22	8	21,2	19,7	44	-28	1,5	2,5	3,1	3,4	5,0
Dominiak	18-nov-21	1	11,8	11,0	65	-19	1,1	2,0	2,7	3,2	5,3
	18-nov-21	2	10,4	11,0	75	-13	0,7	1,2	2,0	2,4	4,2
	19-nov-21	3	11,0	11,0	93	-23	0,9	1,6	2,5	3,0	4,4
	19-nov-21	4	12,7	12,0	85	-15	0,8	1,4	2,2	2,6	4,2
	10-jun-22	5	21,4	20,4	59	-22	1,1	1,8	2,3	2,6	3,8
	10-jun-22	6	21,0	21,0	60	-3	0,4	1,1	1,5	1,8	3,0
	22-jun-22	7	28,1	26,2	27	8	0,9	1,2	1,6	1,8	3,1
	01-jul-22	8	22,4	20,4	43	-24	1,5	2,5	3,2	3,6	6,0

Afstand

Afstand

Bijlage 3 individuele gefitte driftdepositie curves



Correspondentie adres voor dit rapport:

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

Rapport WPR-1180

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, 5.000 medewerkers en 10.000 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



Corresponding address for this report:

P.O. Box 16
6700 AA Wageningen
The Netherlands
T +31 (0)317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Confidential Report

The mission of Wageningen University & Research is "To explore the potential of nature to improve the quality of life". Under the banner Wageningen University & Research, Wageningen University and the specialised research institutes of the Wageningen Research Foundation have joined forces in contributing to finding solutions to important questions in the domain of healthy food and living environment. With its roughly 30 branches, 6,800 employees (6,000 fte) and 12,900 students, Wageningen University & Research is one of the leading organisations in its domain. The unique Wageningen approach lies in its integrated approach to issues and the collaboration between different disciplines.

