



Driftmetingen Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingsysteem 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



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Driftmetingen Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingsysteem 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

Dit onderzoek is in samenwerking met Kruse Ootmarsum BV te Ootmarsum uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Agrosysteemkunde (projectnummer 3710470100).

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

Wageningen, januari 2023

Rapport WPR-1209

Hoog, D.C. de, 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, 2022. *Driftmetingen Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingssysteem 2022*. Wageningen Research, Rapport WPR-1209.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/582988>

Results of spray drift experiments are presented of the Wanner 36 GA crossflow fan orchard sprayer equipped with air management system in comparison with a reference spray technique for fruit crop spraying in The Netherlands. The Wanner sprayer was applied with an edge row protocol, where the air towards the outside of the orchard was limited in the outer 6 paths, the outer row was only sprayed towards the inside of the orchard, the PTO was set to 350 rpm, the gearbox of the fan was set to setting I, the sprayer was equipped with drift reducing nozzles (Teejet AI 80-02 VS at 2 bar spray pressure, 95 % drift reduction). During the spray drift experiments, performed in 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 Wanner orchard sprayer spray drift reduction at 4.5-5.5 m distance from the last tree row was 99.0% 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-1209

Foto omslag: Jan van de Zande (IMG_8878.JPG)

Inhoud

Inhoud	5
1 Inleiding	7
2 Materiaal en Methode	9
2.1 Afstelling en beschrijving 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
2.1.1 Gedetailleerde beschrijving van de methode	20
2.1.2 Meta-analyse	21
2.1.3 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, 2022) 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, 2022) dat voor de fruitteelt de teeltvrije zone bij een DRT75 (TCT, 2022a) 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 Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingssysteem geeft de gebruiker de mogelijkheid om de luchtondersteuning aan beide kanten van de spuit onafhankelijk in te stellen. In de metingen is gebruik gemaakt van een randrij protocol, waarbij de luchtondersteuning richting de buitenzijde van het perceel wordt gesmoord. Daarnaast werd een lage ventilatorsnelheid toegepast 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, 2022b).

In dit onderzoek wordt een Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingssysteem 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, 2020), het Activiteitenbesluit Milieubeheer (I&W, 2022) en internationale afspraken rondom erkenning van driftmetingen (ISO22866, 2005; ISO22369, 2006). In deze rapportage worden de uitgevoerde driftmetingen van de Wanner dwarsstroomspuit en de referentie dwarsstroom boomgaardspuit tijdens bespuitingen van een appelboomgaard in het volblad (na 1 mei) stadium beschreven. In hoofdstuk 2 wordt de proefopzet en de gebruikte spuitmachines 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 spuittechniek

In een veldonderzoek is in 2022 de driftdepositie gemeten voor een Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingsstelsel (figuur 2.1). 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 de lucht gewerkt. In de buitenste 6 werkgangen wordt gewerkt met vaste luchtinstellingen waarbij de lucht gesmoord wordt, richting de buitenzijde van het perceel wordt dan altijd meer gesmoord dan naar binnen het perceel. 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 aftakastotaal (350 rpm) te werken, de luchtinstelling op de versnellingsbak van de spuit stond in stand I (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 Wanner boomgaardspuit. De laagste klepstand is altijd naar de buitenzijde van het perceel gericht en in het geval van éénzijdig spuiten is dit altijd naar binnen het perceel in gericht. Klepstand 0 = helemaal dicht, klepstand 100 = helemaal open. De Wanner terminal werkt met luchtreductie standen, welke omgekeerd evenredig zijn met de klepstanden De bespuiting is van binnen naar buiten uitgevoerd (werkgang).

Pad (werkgang)	bomenrij	Klepstand links-rechts	terminal-aanduiding	spuiten
1 (9)	1	0-50	100-50	éénzijdig
2 (8)	1 – 2	50-0	50-100	éénzijdig
3 (7)	2 – 3	10-50	90-50	
4 (6)	3 – 4	50-10	50-90	
5 (5)	4 – 5	10-50	90-50	
6 (4)	5 – 6	50-10	50-90	
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 Wanner boomgaardspuit werd vergeleken met die van de referentie dwarsstroomspuit voorzien van Albus ATR Lila doppen (referentietechniek; TCT, 2017, figuur 2.6).



Figuur 2.1 De Wanner 36GA dwarsstroomspruit met luchtregelingsysteem.



Figuur 2.2 De versnellingsbak van de ventilator wordt door middel van een hendel in stand I gezet.



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



Figuur 2.4 Met de terminal in de cabine van de trekker kunnen de instellingen van de spuit geregeld worden.



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

In tabel 2.2 staan de posities van de dophouders op de Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingssysteem boven grondoppervlak weergegeven. Andere instelling zijn terug te vinden in tabel 2.4

Tabel 2.2 Dophoogte vanaf de grond [cm] van de aan de Wanner dwarsstroomspuit, dophoogtes links en rechts zijn identiek.

dopnr	1	2	3	4	5	6	7	8
	52	70	88	106	148	187	229	259

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. Andere instellingen zijn terug te vinden in tabel 2.4.



Figuur 2.6 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	Wanner 36GA
aftakas	540	350
Versnellingsbak ventilator	Hoog	Laag (I)
Spuiddoppen	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	7,0
Gemiddeld spuitvolume [l/ha]	215	325

2.4 Beschrijving metingen en verwerking resultaten

2.4.1 Metingen

De experimenten werden uitgevoerd in 2022. Op 22 juni (1x), 25 juli (3x) en 19 oktober (4x). 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 ongeveer 2,50 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 weerszijden de meetopstelling (boven) en een bovenaanzicht van de boomrijen en de proefopstelling.

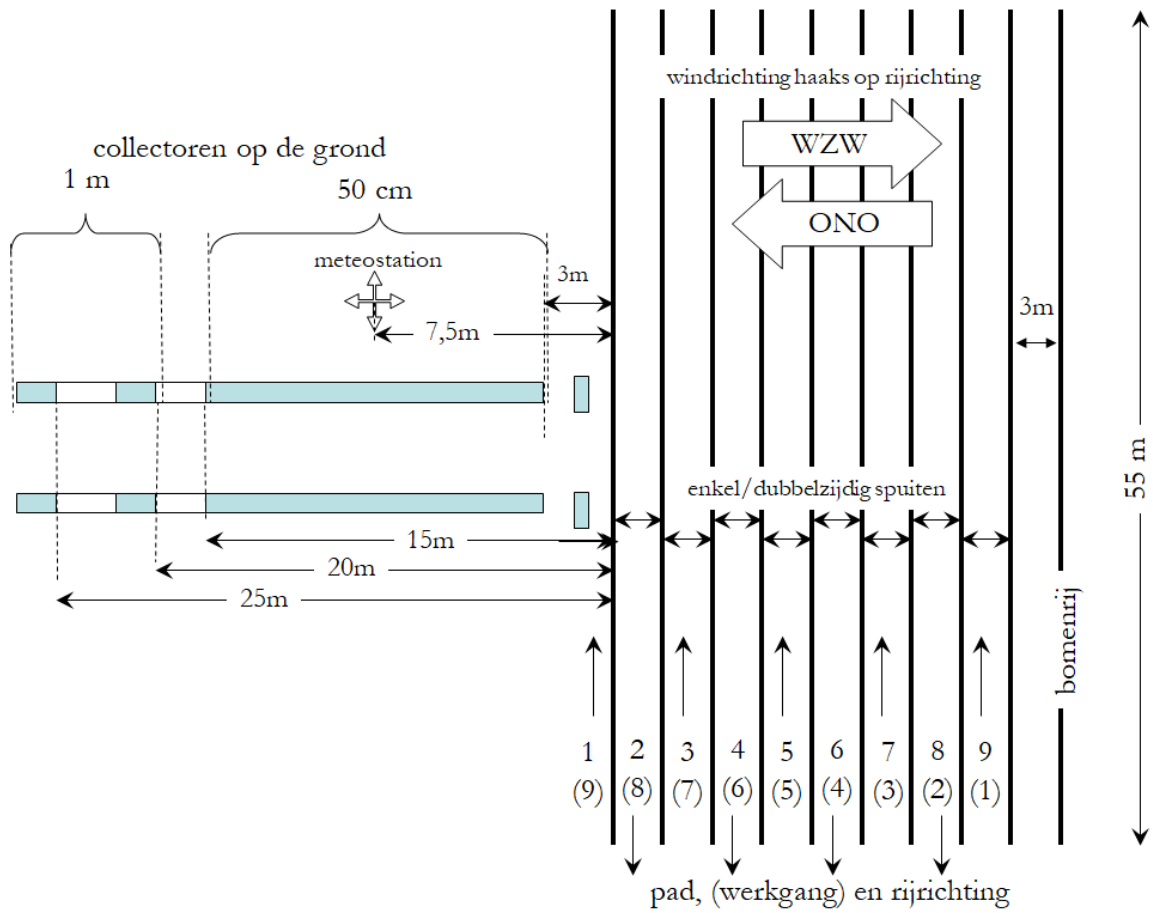
Tijdens de driftmetingen werden de laatste acht bomenrijen (24m) aan de benedenwindse zijde bespoten volgens het protocol in tabel 2.1. Na elke bespuiting werden de driftcollectoren verzameld en per stuk verpakt en opgeborgen, zodat de depositie per object bepaald kon worden.

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):

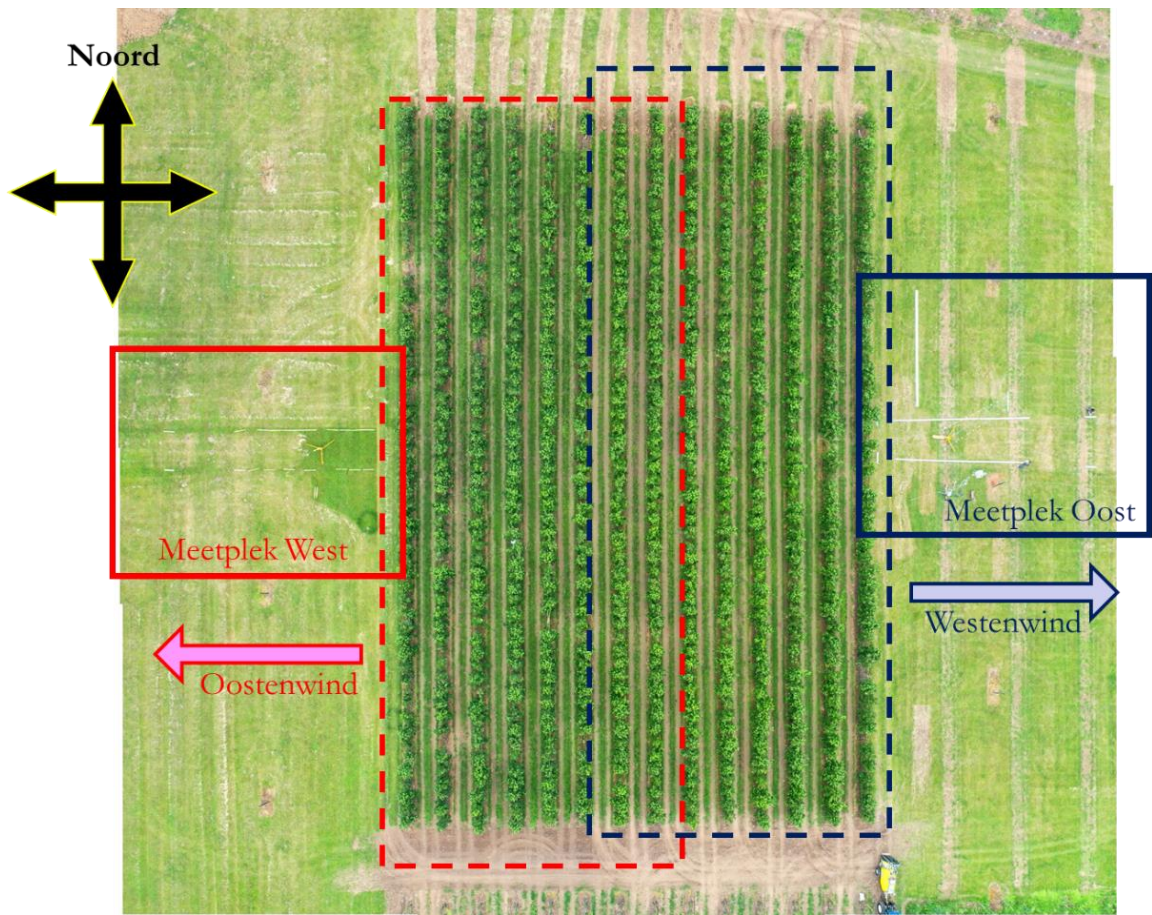
- Op 1,5 meter, evenwijdig aan de buitenste bomenrij, een collector van 1 meter lengte.
- Op 3 – 15 meter aaneengesloten collectoren van 0,5 meter (haaks op de bomenrij).
- Op 20 en 25 meter een collector van 1 meter (haaks op de bomenrij).

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.



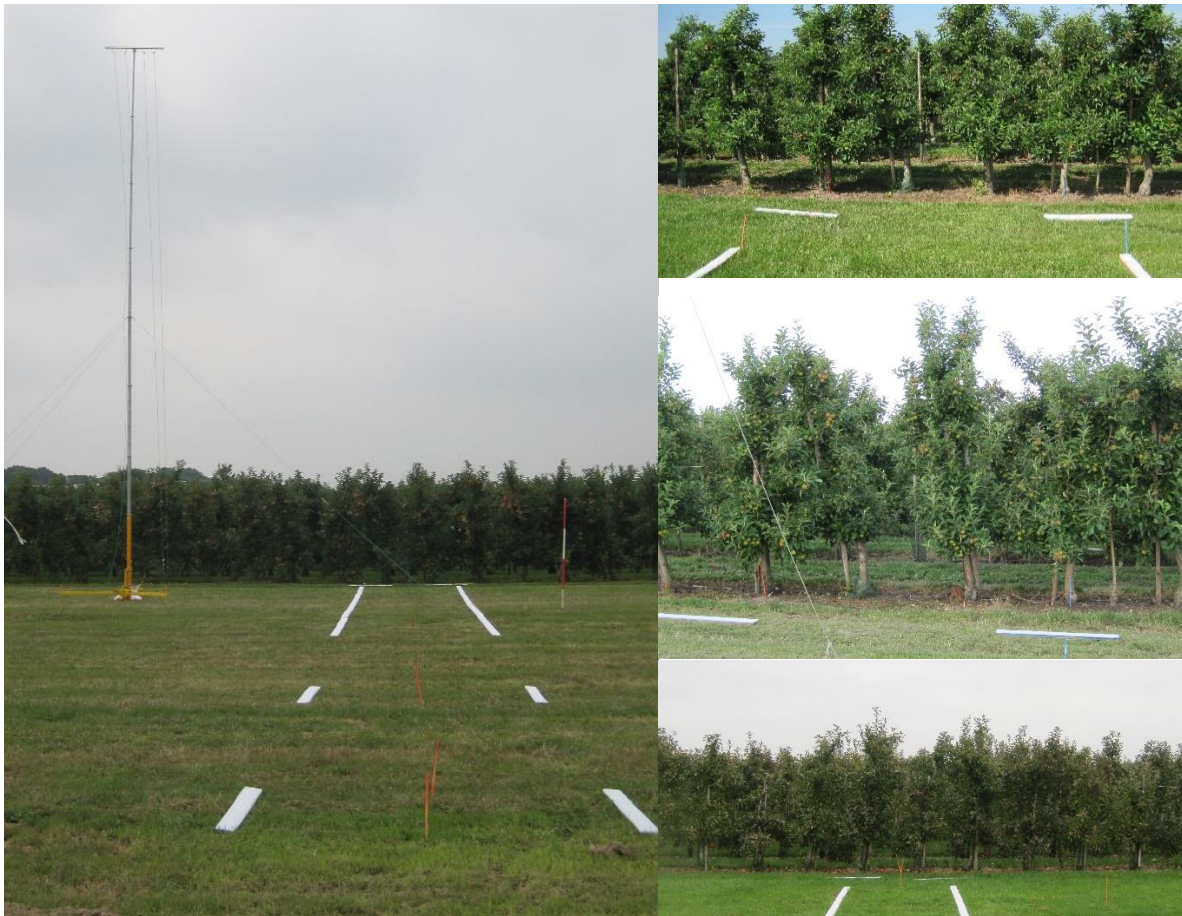
Figuur 2.7 Schematische weergave proefveld en meetopstelling.



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

2.4.2 Analyses

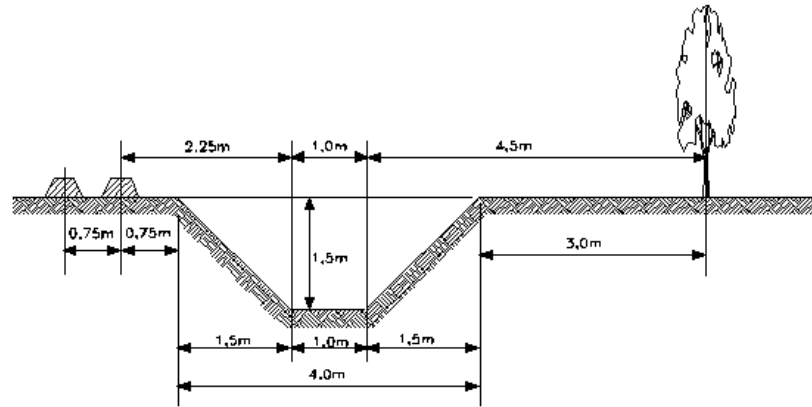
De bespuitingen werden uitgevoerd met water waaraan Acid Yellow 250 (AY250, DC Finechemicals, CAS nummer 93859-32-6, 2-5 g/l) en een niet-ionische uitvloeier (Agral Gold, 0,075 ml/l) was toegevoegd. Na de bespuiting werden de driftcollectoren verzameld en gecodeerd voor verdere analyse op de hoeveelheid 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 Wanner 36GA dwarsstroomspuit 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, 2022) 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 $P_T(x)$ in het algemeen goed te passen en voor de Referentie machine een dubbel exponentiële curve $P_R(x)$:

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

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

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

$$I_M = \int_a^b P_M(x) dx$$

De integralen voor $P_T(x)$ and $P_R(x)$ worden gegeven door:

$$I_T = \beta [\exp(-\delta x_a) - \exp(-\delta x_b)] / \delta$$

$$I_R = \beta_1 [\exp(-\delta_1 x_a) - \exp(-\delta_1 x_b)] / \delta_1 + \beta_2 [\exp(-\delta_2 x_a) - \exp(-\delta_2 x_b)] / \delta_2$$

Het reductie percentage X van machine T ten opzichte van machine R in het interval (x_a, x_b) wordt dan gegeven door

$$X = 100 - 100 I_T / I_R$$

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 collectoren worden gespoeld met demi-water en

vervolgens wordt de fluorescentie van het filtraat gemeten. De gemeten fluorescenties worden dan gebruikt worden om de afstand functies $P(x)$ voor de Test en Referentie machine te schatten. De geschatte parameters kunnen gebruikt worden om een reductie percentage X te schatten inclusief een bijbehorend 95% betrouwbaarheidsinterval.

Een experiment waarin een Test en een Referentie machine worden vergeleken wordt 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 en de doeken worden verzameld. Ten tweede worden er nieuwe doeken neergelegd op dezelfde posities als de oude en 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, zoals windrichting en windsnelheid kunnen enigszins variëren. Voor elke meetraai worden de parameters van de exponentiële curve, $P_T(x)$ voor de Test machine en $P_R(x)$ voor de Referentie machine, geschat. 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, inclusief een 95% betrouwbaarheidsinterval, door een zogenaamde meta-analyse uit te voeren.

2.1.1 Gedetailleerde beschrijving van de methode

In onderstaande beschrijving worden de volgende symbolen gebruikt

F_{demi}	Gemeten fluorescentie van demiwater
F_{doek}	Fluorescentie van een schone doek, wordt verondersteld constant te zijn
x_i	Afstand tot de buitenste bomerij 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 (%)

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 de i -de doek is de som van de fluorescentie van de spuitvloeistof (F_i) op de doek, van het demi-water waarmee gespoeld is (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

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

Het gaat vooral om de fluorescentie F_i van de gespoten vloeistof, die wordt gegeven door:

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

Door meetonzekerheden is het mogelijk dat F_i negatief wordt wanneer deze direct wordt berekend vanuit de gemeten fluorescenties Y_i , F_{demi} en F_{doek} . Dit is ongewenst en daarom is een modelbenadering gebruikt. Om de driftdepositie P_i te bepalen wordt de fluorescentie F_i gecorrigeerd voor een ijkconstante K , een spoelvolumen V , de concentratie van de fluorescente vloeistof in de tank C en de oppervlakte van de doek A_i . De depositie van de vloeistof op de doek per oppervlakte eenheid van het doek is dan gelijk aan $(F_i K V)/(C A_i)$. Tenslotte vindt nog een correctie plaats voor de veldafgifte Q . Het percentage depositie P_i wordt verkregen door:

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

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 $P_R(x)$ voor P_i .

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. Omdat de variatie in de waarnemingen Y_i^* toeneemt met het niveau worden gamma verdeelde fouten verondersteld. De geschatte parameters β en δ en hun standaardafwijkingen, voor zowel de test als de referentie machine, 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.

2.1.2 Meta-analyse

De geschatte reductiefactoren X voor elke rij in meerdere experimenten, met bijbehorende standaard afwijkingen, worden onderworpen aan een meta-analyse om zo tot één enkele schatting te komen van de reductiefactor van een Test machine. In de meta analyse 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 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.

2.1.3 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 op de eerste meetdag was de doekwaarde 125, op de tweede meetdag 424 en op de derde 100. De precieze waarde van F_{doek} heeft een zeer beperkte invloed op de uiteindelijke resultaten.
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, 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. Bij het aanpassen van de exponentiële curves wordt gebruik gemaakt van het feit dat bij bekende waarden van de δ parameters het model lineair is in de β parameters en de F_{demi} parameter. Het model reduceert dan tot een zogenaamd *generalized linear model* (GLM) met de gamma verdeling en een identiteit-link. Een dergelijke GLM kan aangepast worden met standaard statistische software. Hiervan gebruik makend wordt de niet-lineaire δ parameter in het enkel exponentiële model geschat met de eendimensionale optimalisatie functie `optimize()` in *R*. Voor het dubbel exponentiële model wordt de "*L-BFGS-B*" methode in de *R* functie `optim()` gebruikt voor het schatten van beide δ parameters. In beide gevallen worden initiële intervallen voor de δ parameters verkregen via een simpele equidistante grid-zoektocht voor δ tussen 0.001 en 5.
7. Negatieve schattingen voor β zijn op 0 gezet, dit resulteert in een constante curve voor het enkel exponentiële model en een enkel exponentieel model voor het dubbele exponentiële model.
8. 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 voor grotere afstanden.
9. 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 0.35.

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 2.7). 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 2022, op 22 juni (1x), 27 juli (3x) en 19 oktober (4x). In totaal werden 8 herhalingen gemeten. Alle metingen voldoen voor de windsnelheid en -richting aan de eisen van het meetprotocol (TCT, 2017).

De gemiddelde weersomstandigheden van de metingen (8 herhalingen) staan in tabel 2.4.

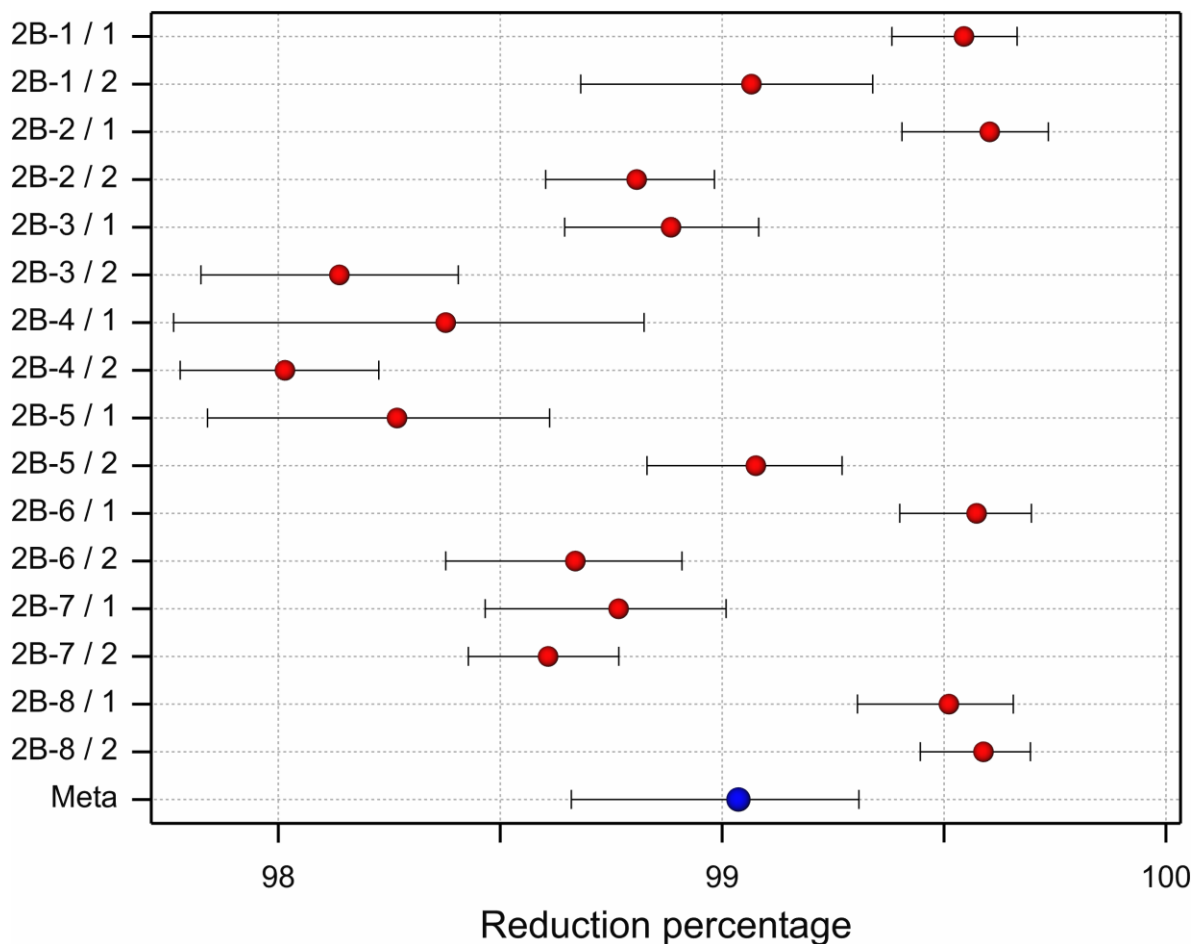
Tabel 2.4 Gemiddelde weersomstandigheden voor de verschillende technieken tijdens de driftmetingen.

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	20,0	18,9	52	12	1,1	1,9	2,6	3,1	5,0
Wanner36GA	8	19,2	18,2	53	4	1,1	1,9	2,7	3,1	4,9
	gemiddeld	19,6	18,5	52	8	1,1	1,9	2,7	3,1	5,0

Tijdens de driftmetingen was de gemiddelde temperatuur 18,5 °C (op 4 m hoogte), de gemiddelde windhoek 8° ten opzichte van loodrecht op de bomenrij en de gemiddelde windsnelheid op 2 m hoogte 1,9 m/s en op 4 m hoogte (ongeveer 1 m boven de bomen) 3,1 m/s.

3 Resultaten

De gemeten driftreductie op de evaluatiestrook (4,5-5,5 m) tijdens bespuitingen in de volbladsituatie (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 waarden per meting. De meetraaien zijn gecodeerd als: object nr – herhaling – jaar / meetraai. Voor elke meting is de geschatte reductie inclusief een 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven. De meta-analyse geeft een geschatte (gemiddelde) driftreductie van 99.0%.

De Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingssysteem, Teejet AI 80-02 VS Spuitdoppen bij 2 bar spuitdruk (DRD 95, TCT, 2022b, het toerental van de PTO ingesteld op 350 rpm, de versnellingsbak van de ventilator in stand I, de laatste 6 werkgangen de luchtondersteuning volgens een vast randrijprotocol en de buitenste bomenrij eenzijdig bespoten is vergeleken met een referentie machine. Gemiddeld genomen is de driftreductie 99.0% (betrouwbaarheidsinterval 98.7 - 99.3). De Test en Referentie machine zijn significant verschillend bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

4 Discussie en conclusie

De geschatte driftreductie van de Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingssysteem ten opzichte van een referentie machine is gelijk aan 99.0% op de evaluatiestrook 4,5-5,5 m vanaf de buitenste bomenrij. Het 95% betrouwbaarheidsinterval loopt daarbij van 98.7% tot 99.3%. Deze driftreductie is gebaseerd op herhaalde bespuitingen van een appelboomgaard in het volbladstadium (BBCH 75-91). De specificaties van de gebruikte Wanner 36GA dwarsstroomspuit met luchtregelingssysteem zijn als volgt: Teejet AI 80-02 VS Spuitdoppen bij 2 bar spuitdruk (DRD 95, TCT, 2022b, het toerental van de PTO ingesteld op 350 rpm, de versnellingsbak van de ventilator in stand 1, de laatste 6 werkgangen de luchtondersteuning volgens een vast randrijprotocol en de buitenste bomenrij eenzijdig bespoten.

In de resultaten zit een spreiding van de geschatte driftreducties, zowel tussen de verschillende metingen als tussen de meetraaien binnen een meting. De oorzaak hiervan kan niet direct verklaard worden, maar er zit altijd variatie tussen metingen, welke veroorzaakt kan worden door weersomstandigheden, boomontwikkeling, de werking van de spuit, etc.; gewone variatie voor landbouwkundig (of biologisch) onderzoek. Deze variaties onderbouwen de noodzaak van voldoende herhalingen van de metingen (testprotocol geeft aan 8-10 herhalingen) om robuuste resultaten te verkrijgen.

Literatuur

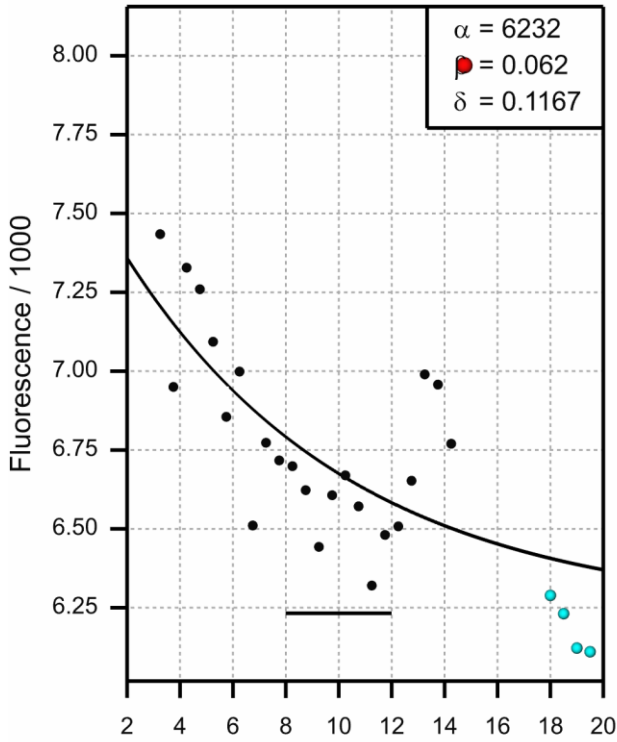
- Ctgb, 2021. Evaluation Manual for the Authorisation of Plant protection products and Biocides according to Regulation (EC) No 1107/2009 NL part Plant protection products Chapter 6 Fate and behaviour in the environment: behaviour in surface water and sediment version 2.6; August 2021. <http://www.ctgb.nl/>
- 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.
- IISO 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, J.C. 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
- MinI&W (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), 2022. Activiteitenbesluit Milieubeheer; geldig vanaf 21 September 2022; <https://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2022-09-21>
- TCT, 2017. Meetprotocol vaststellen driftreductie spuittechnieken [versie 1 juli 2017]. [<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/openteelt/driftreducerende/>]
- TCT, 2022a. Lijst met indeling van spuittechnieken in Driftreducerende Techniek-klassen (DRT-klassen) (DRT lijst). Versie 29 juli 2022. [<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/openteelt/driftreducerende/>]
- TCT, 2022b. Lijst met indeling van spuitdoppen in Driftreducerende Dop-klassen (DRD-klassen) (DRD-lijst). Versie 29 juli 2022. [<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/emissiebeheer/agrarisch/openteelt/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

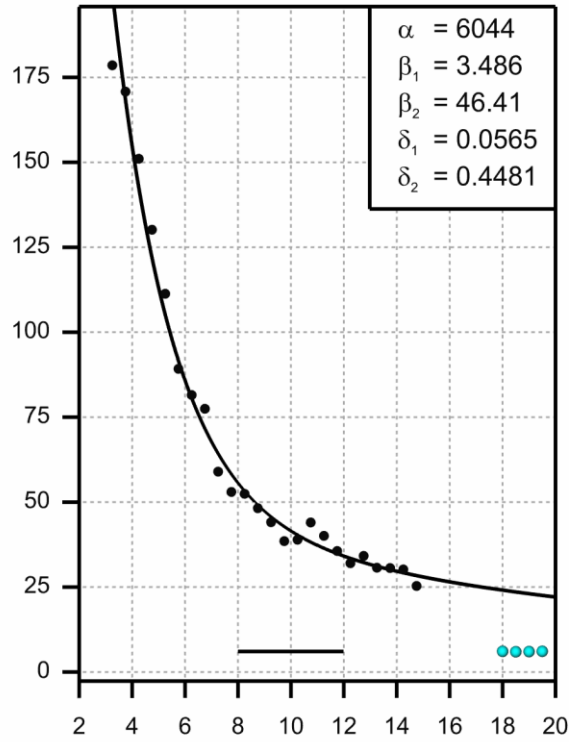
Op elke pagina staat 1 meting, boven de figuren voor meetraai 1, onder voor meetraai 2. Links staan de figuren voor de test machine en rechts voor de bijbehorende referentie. Boven de test figuren staat de geschatte driftreductie voor de specifieke meetraai en, tussen haakjes, het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval.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

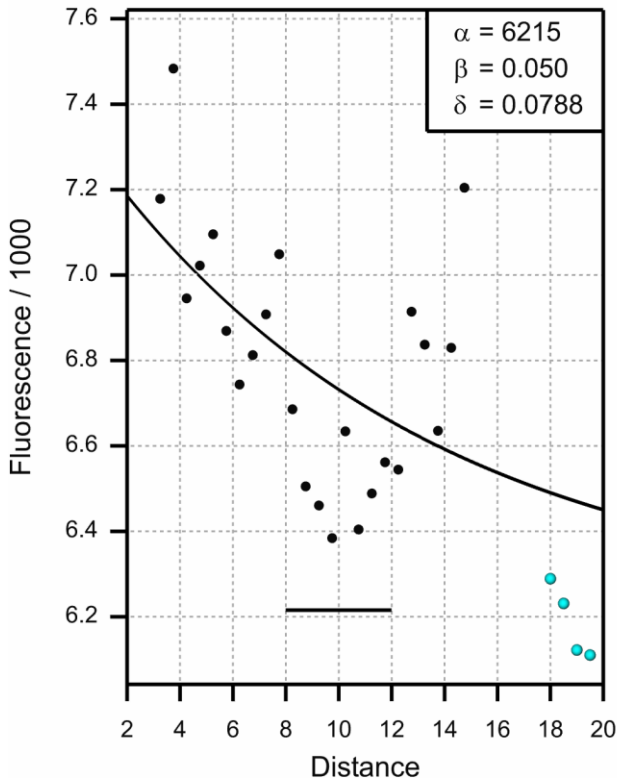
Test 99.5% (99.4, 99.7)



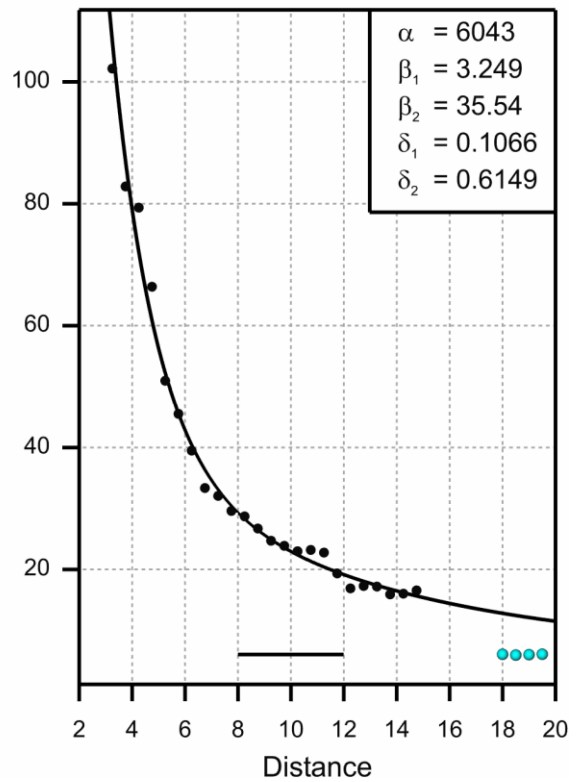
Reference 2B-1 / 1



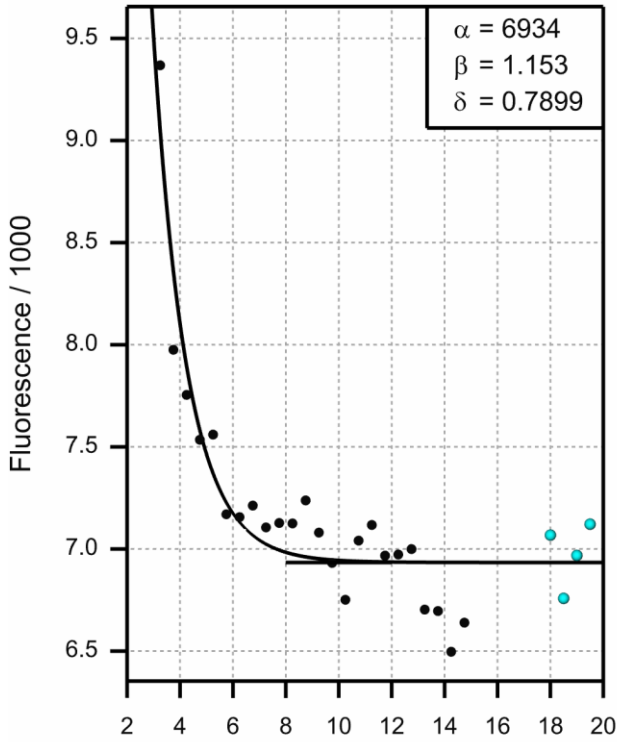
Test 99.1% (98.7, 99.3)



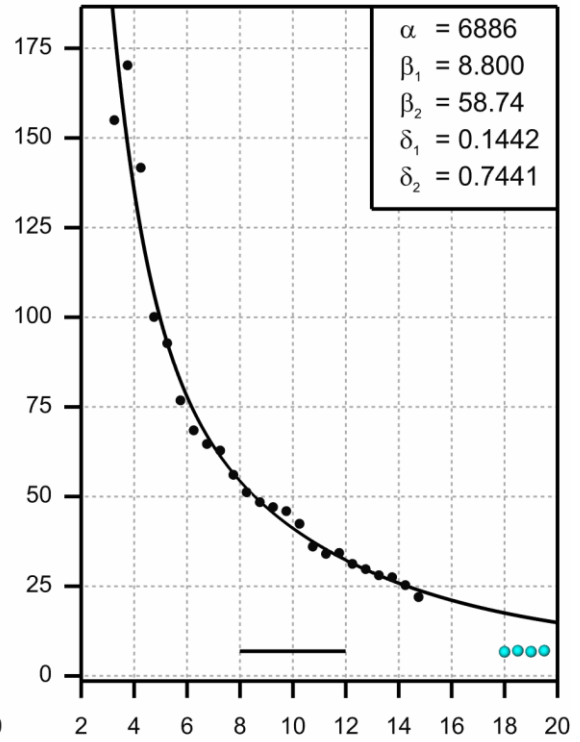
Reference 2B-1 / 2



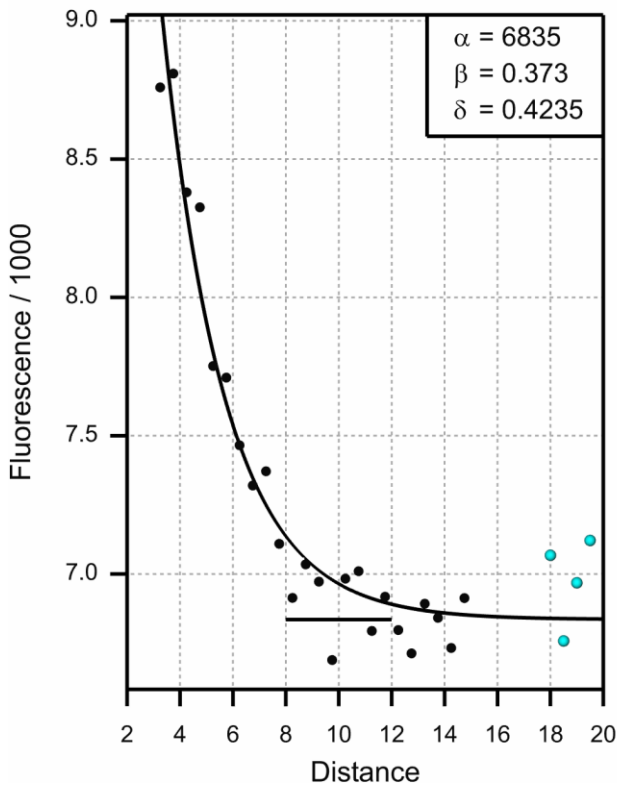
Test 99.6% (99.4, 99.7)



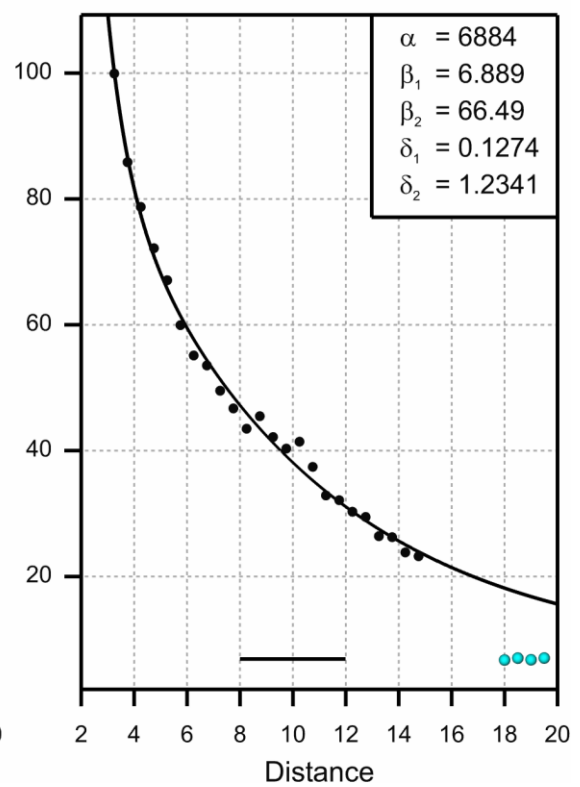
Reference 2B-2 / 1



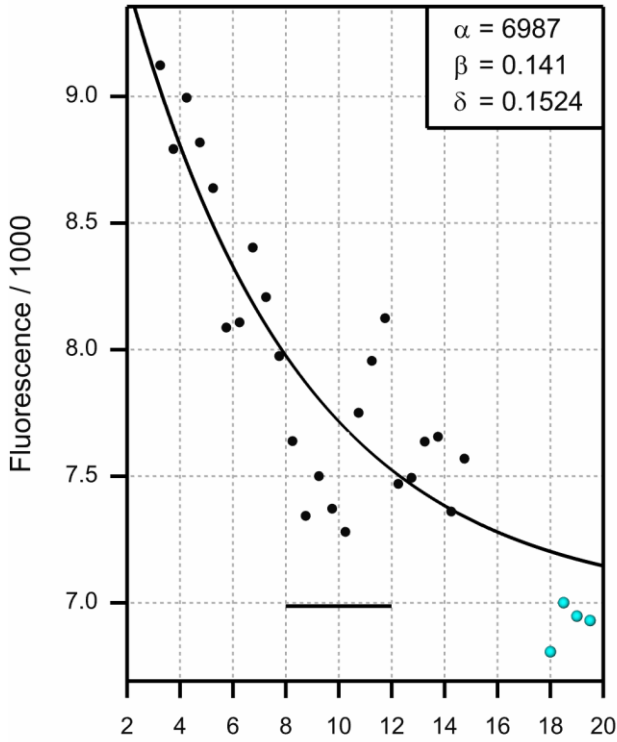
Test 98.8% (98.6, 99.0)



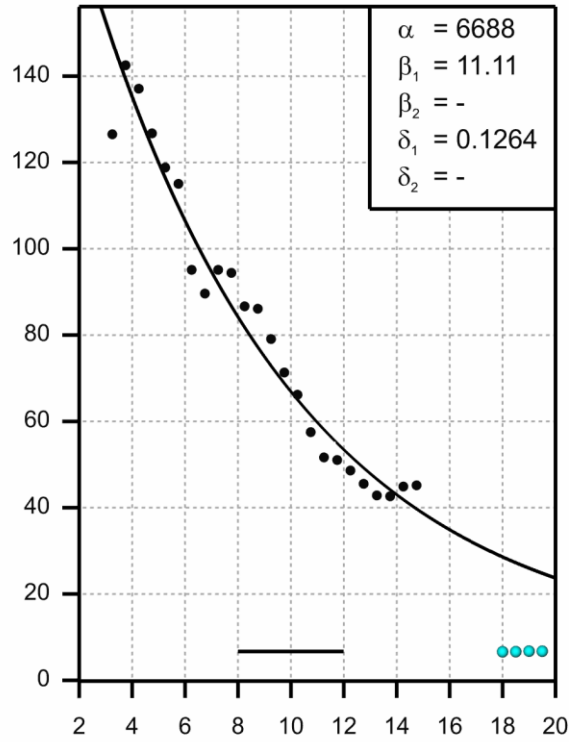
Reference 2B-2 / 2



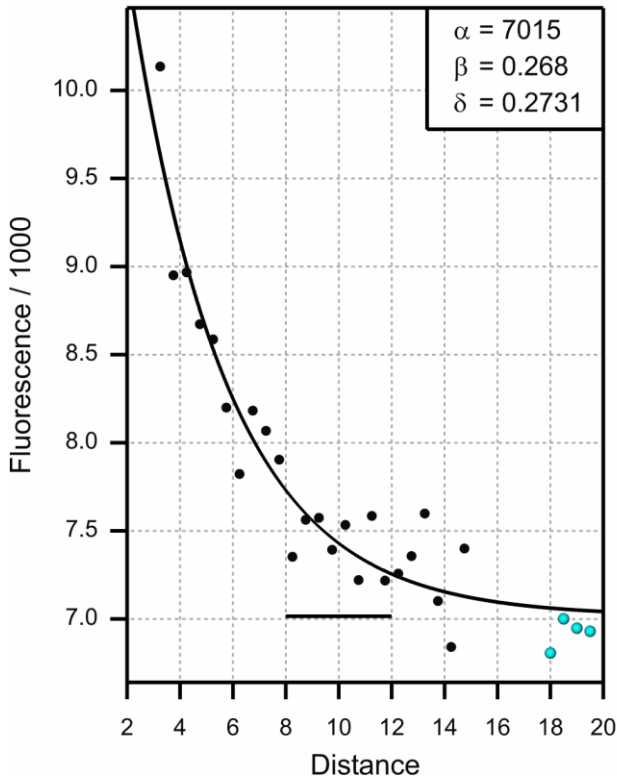
Test 98.9% (98.6, 99.1)



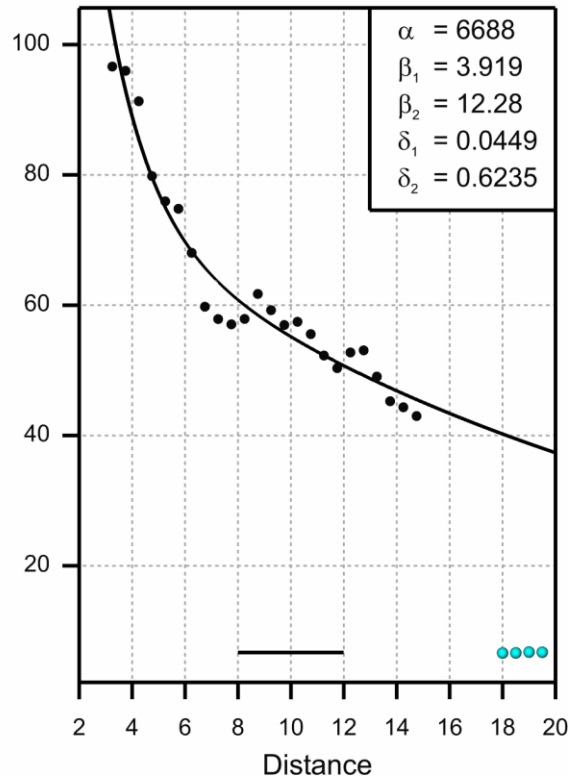
Reference 2B-3 / 1



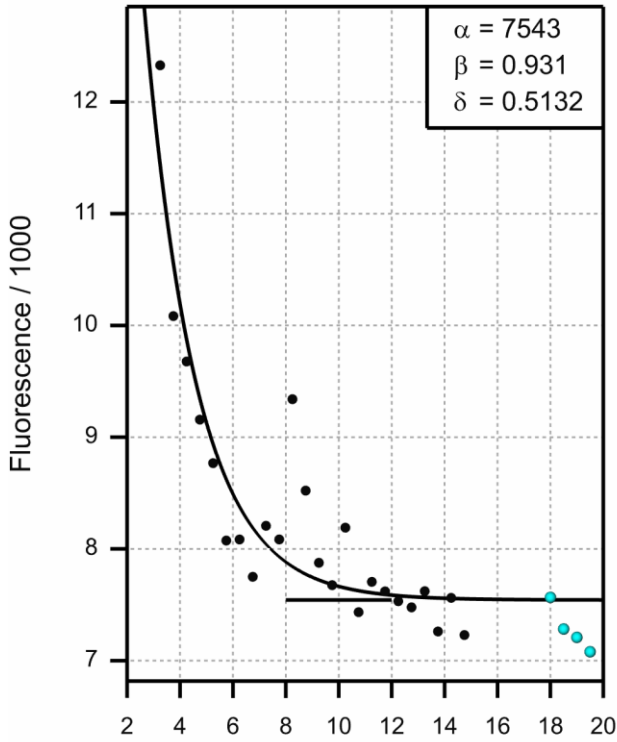
Test 98.1% (97.8, 98.4)



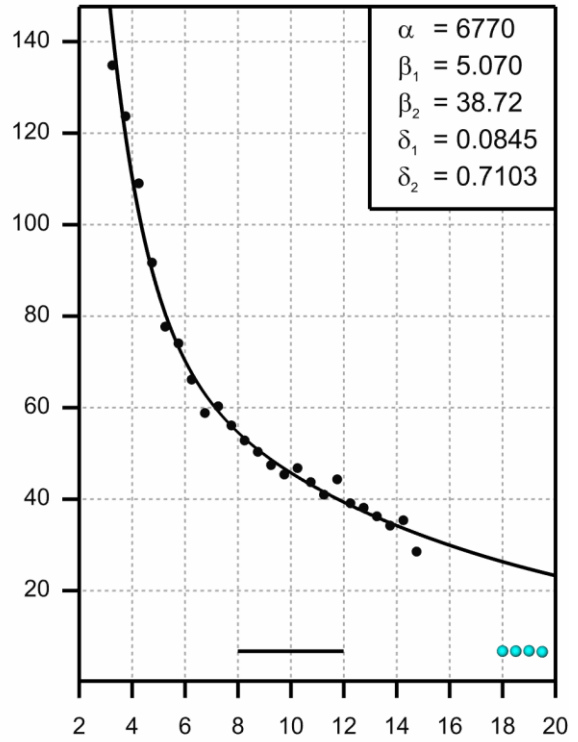
Reference 2B-3 / 2



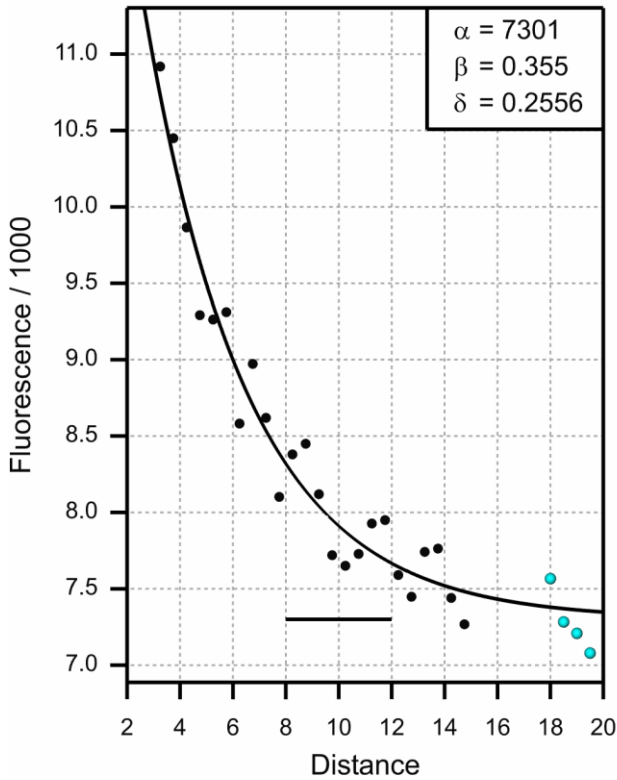
Test 98.4% (97.8, 98.8)



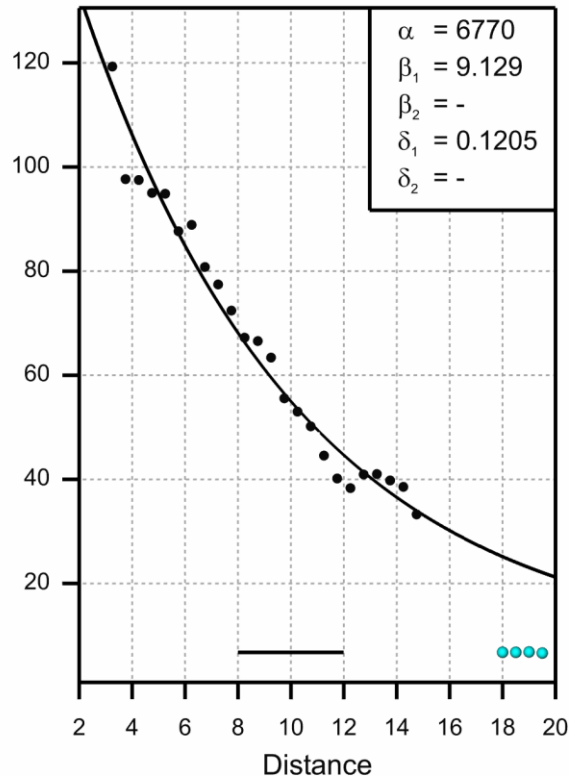
Reference 2B-4 / 1



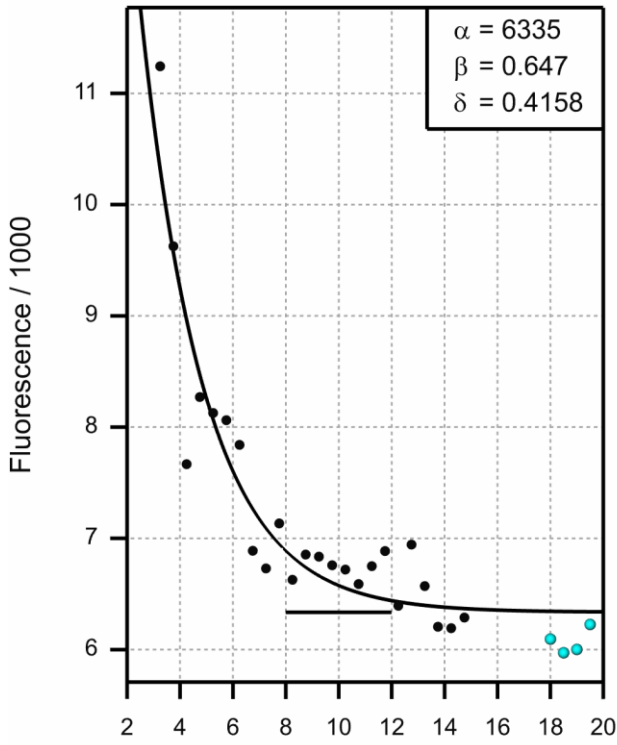
Test 98.0% (97.8, 98.2)



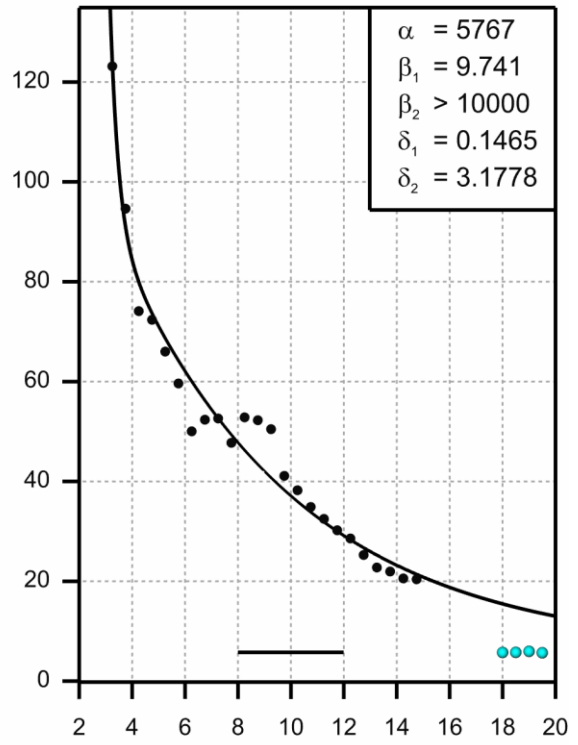
Reference 2B-4 / 2



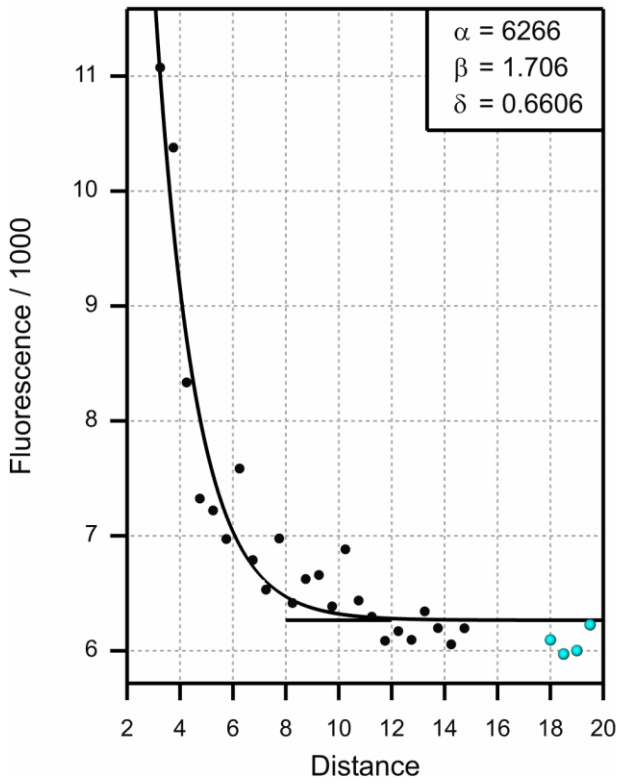
Test 98.3% (97.8, 98.6)



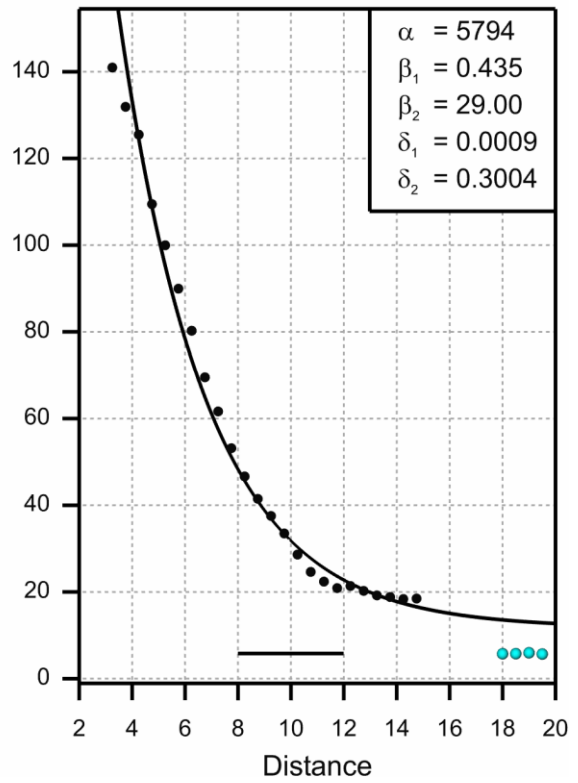
Reference 2B-5 / 1



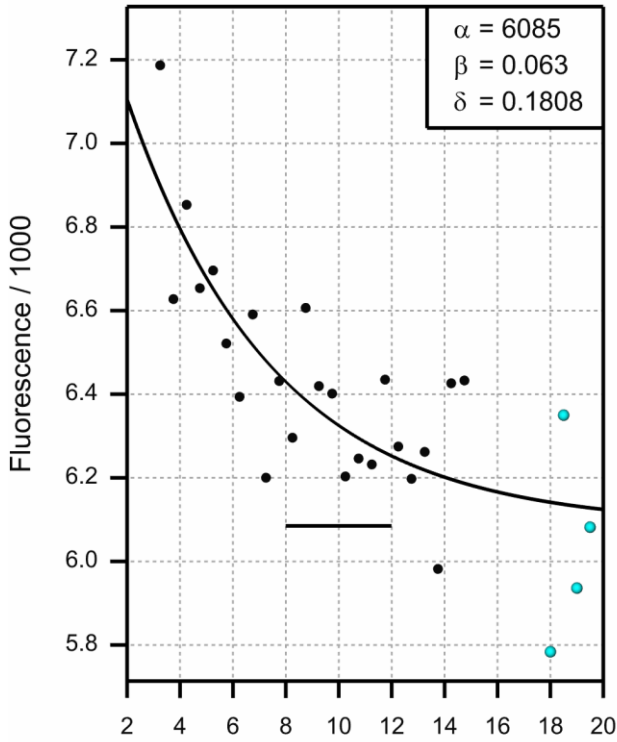
Test 99.1% (98.8, 99.3)



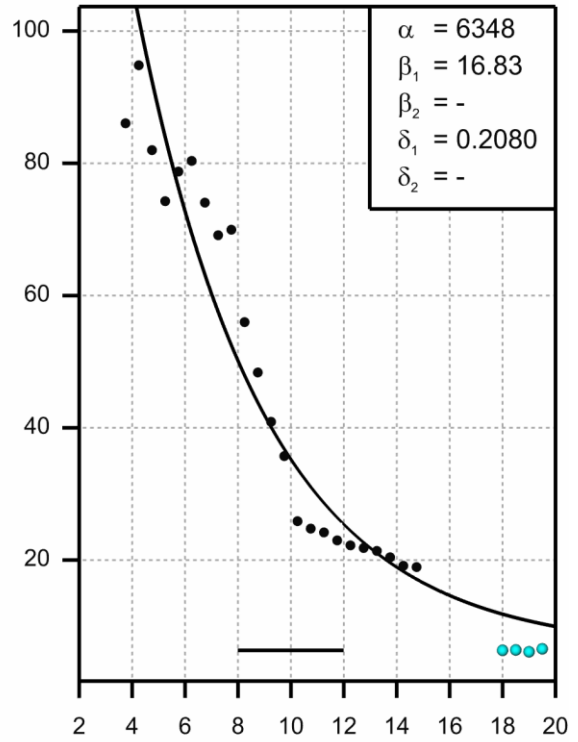
Reference 2B-5 / 2



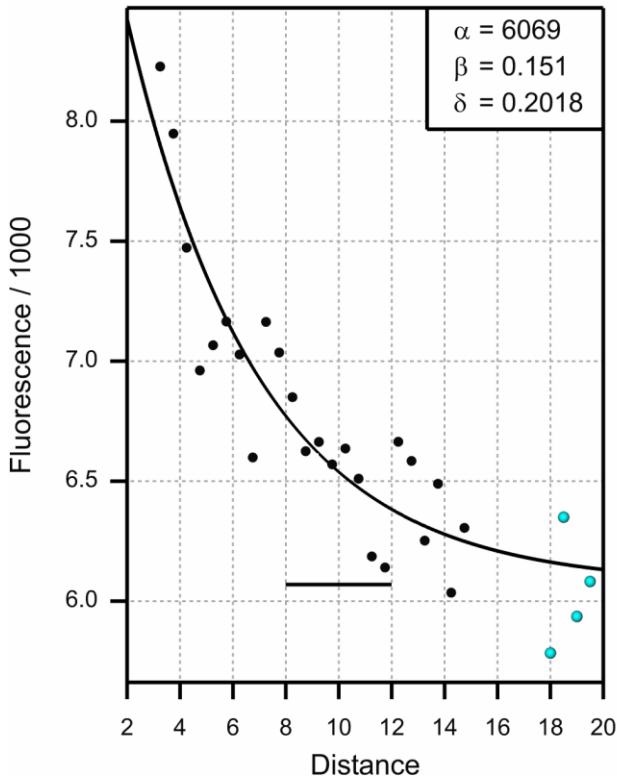
Test 99.6% (99.4, 99.7)



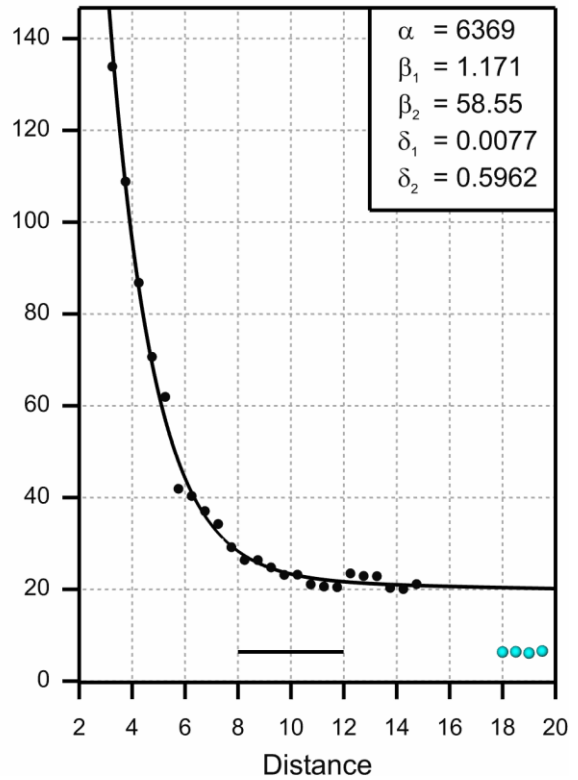
Reference 2B-6 / 1



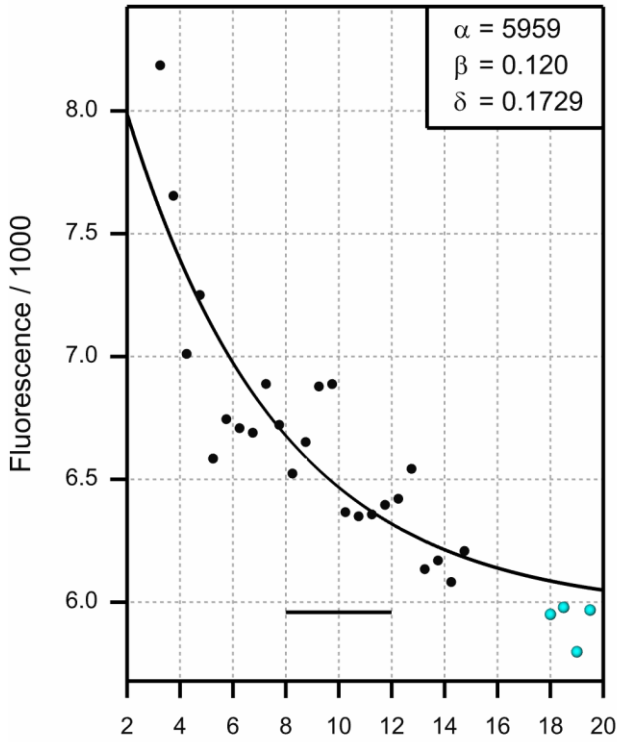
Test 98.7% (98.4, 98.9)



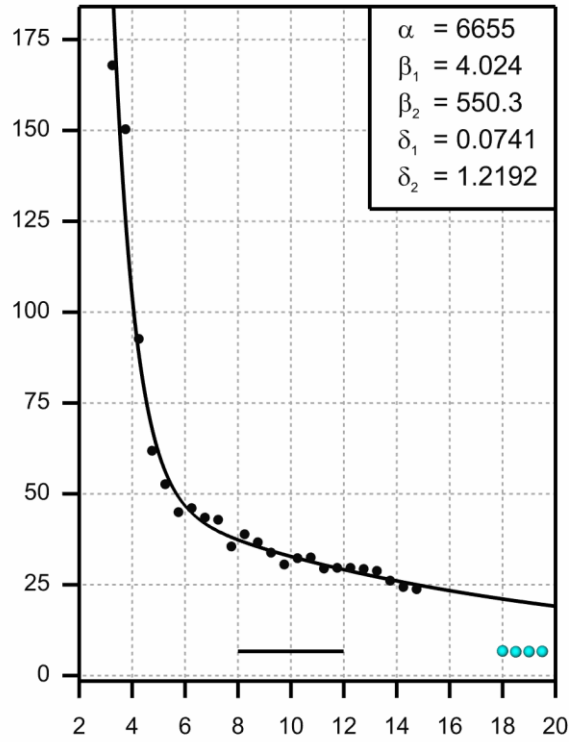
Reference 2B-6 / 2



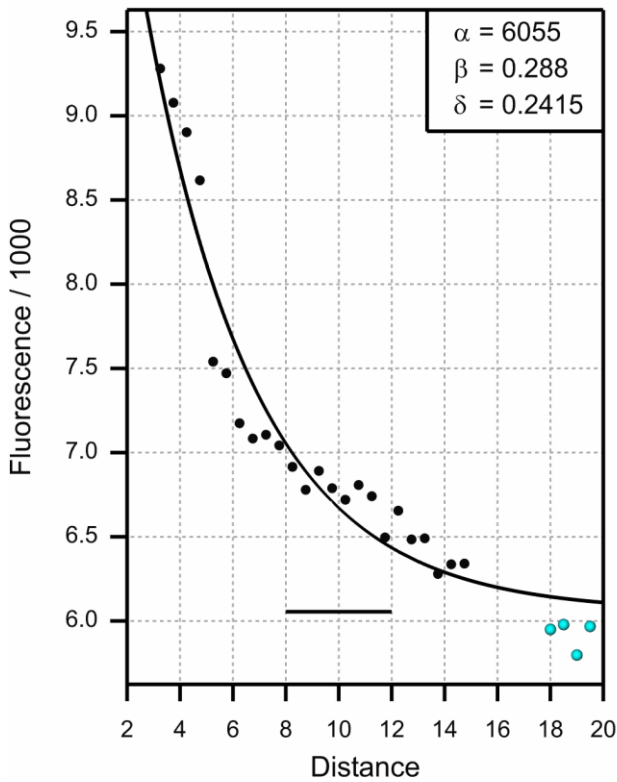
Test 98.8% (98.5, 99.0)



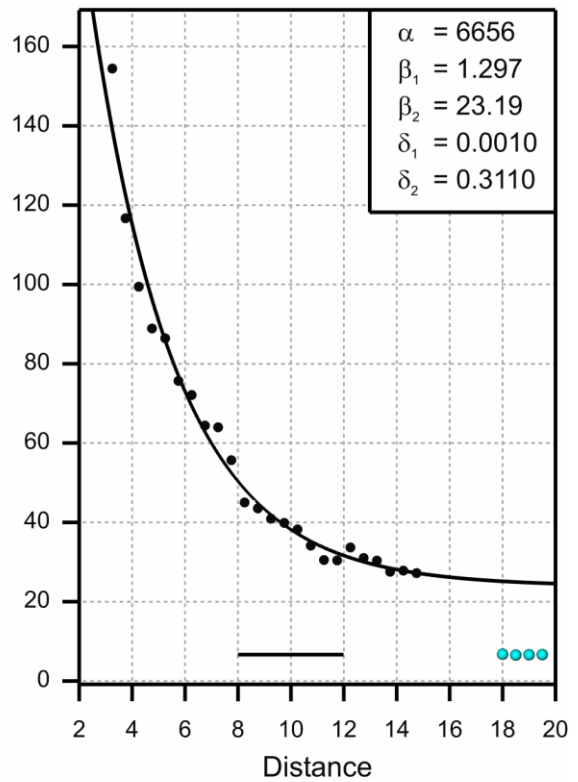
Reference 2B-7 / 1



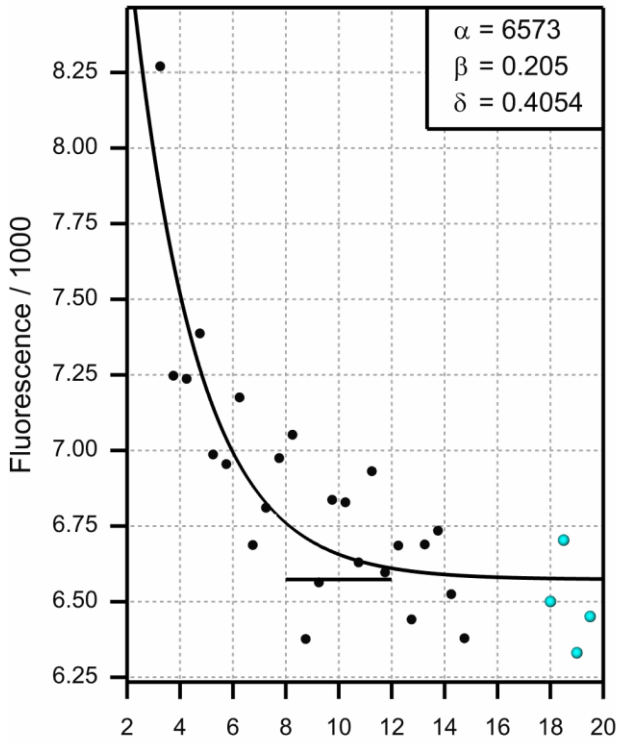
Test 98.6% (98.4, 98.8)



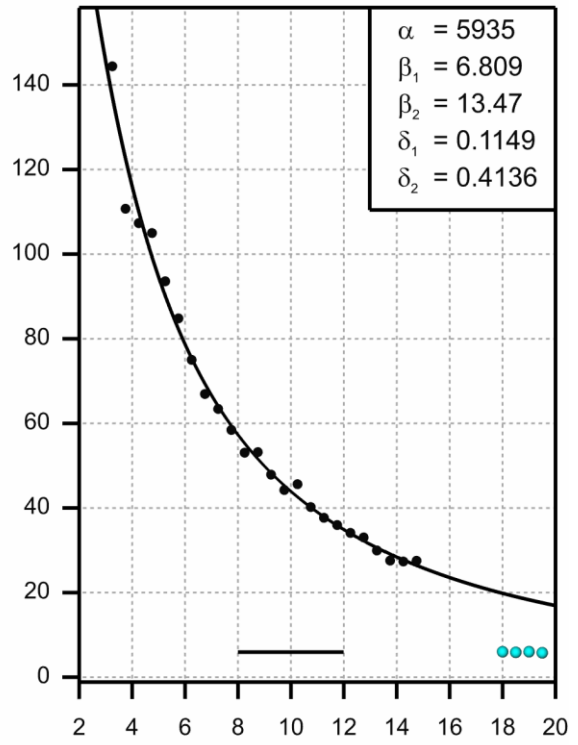
Reference 2B-7 / 2



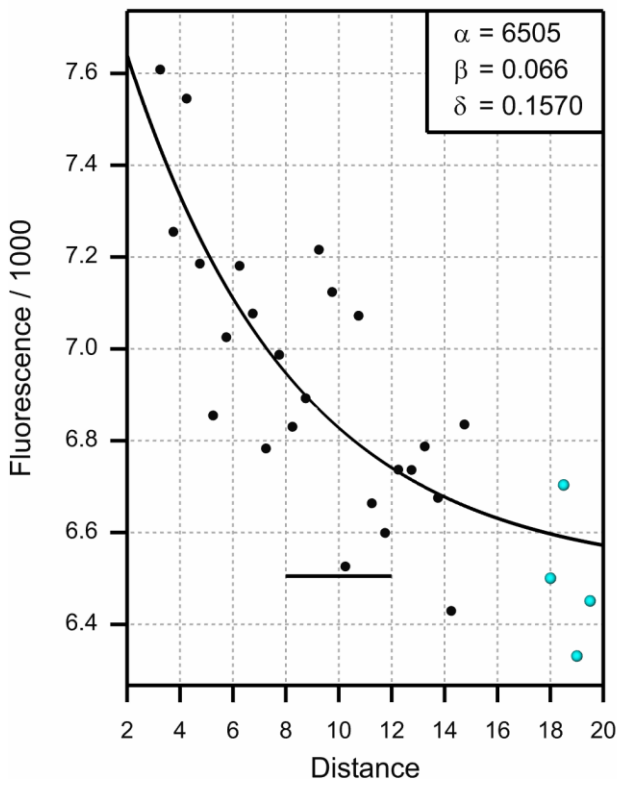
Test 99.5% (99.3, 99.7)



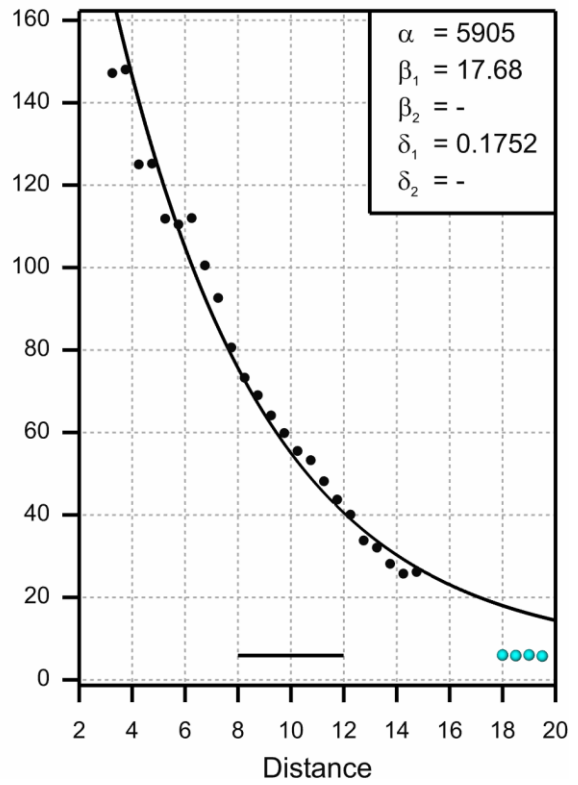
Reference 2B-8 / 1



Test 99.6% (99.4, 99.7)



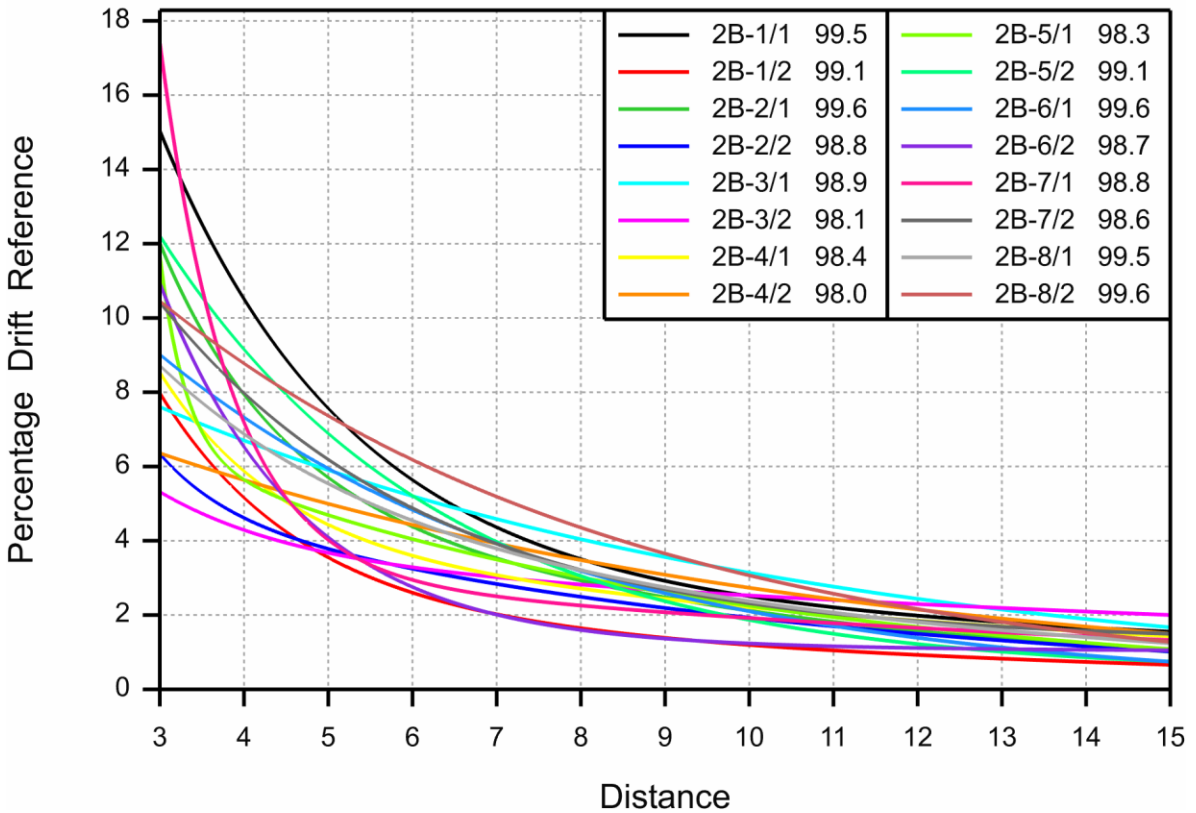
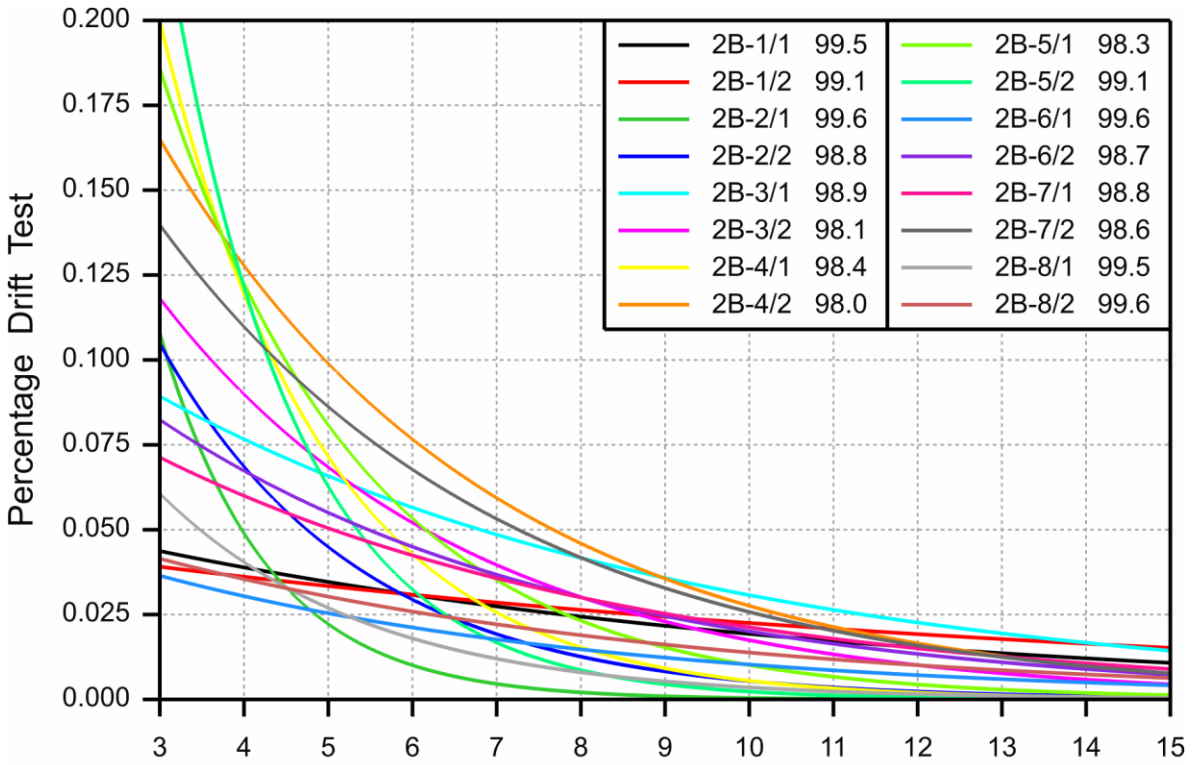
Reference 2B-8 / 2



Bijlage 2 Weersomstandigheden tijdens de driftmetingen

techniek	datum	#	temperatuur [°C] op		RV %	windhoek tov haaks		windsnelheid [m/s] op			
			0,5 m	4 m		haaks=0°	0,5 m	2 m	3 m	4 m	10 m
Standaard	22-jun-22	1	26,8	24,8	29	-4	0,7	1,3	1,7	2,1	3,2
	25-Jul-22	2	23,6	22,9	68	25	1,0	1,7	2,5	3,0	5,1
	25-Jul-22	3	24,3	23,3	56	0	1,3	2,4	3,4	4,2	6,6
	25-Jul-22	4	25,3	24,0	47	10	1,3	2,3	3,5	4,0	5,9
	19-okt-22	5	14,7	13,0	61	8	1,0	1,9	2,5	2,9	5,1
	19-okt-22	6	15,3	14,0	56	23	1,5	2,4	3,0	3,5	5,4
	19-okt-22	7	16,2	14,9	46	16	1,3	2,1	2,8	3,3	4,9
	19-okt-22	8	14,0	13,9	51	18	0,8	1,2	1,7	2,1	3,6
Wanner	22-jun-22	1	26,0	23,7	33	-12	0,8	1,2	1,7	2,2	3,4
	25-jul-22	2	24,3	23,1	56	1	0,9	1,5	2,1	2,6	3,8
	25-Jul-22	3	21,4	21,2	63	0	1,5	2,9	3,8	4,2	6,6
	25-Jul-22	4	23,0	22,0	55	-4	1,3	2,2	3,1	3,3	5,7
	19-okt-22	5	14,8	13,6	58	9	1,1	2,1	2,9	3,4	5,2
	19-okt-22	6	14,9	13,6	58	9	1,3	2,3	3,4	3,9	6,1
	19-okt-22	7	15,4	14,5	47	14	1,1	1,8	2,7	3,2	4,8
	19-okt-22	8	14,0	13,8	54	12	0,6	1,3	1,9	2,3	4,0

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-1209

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.

