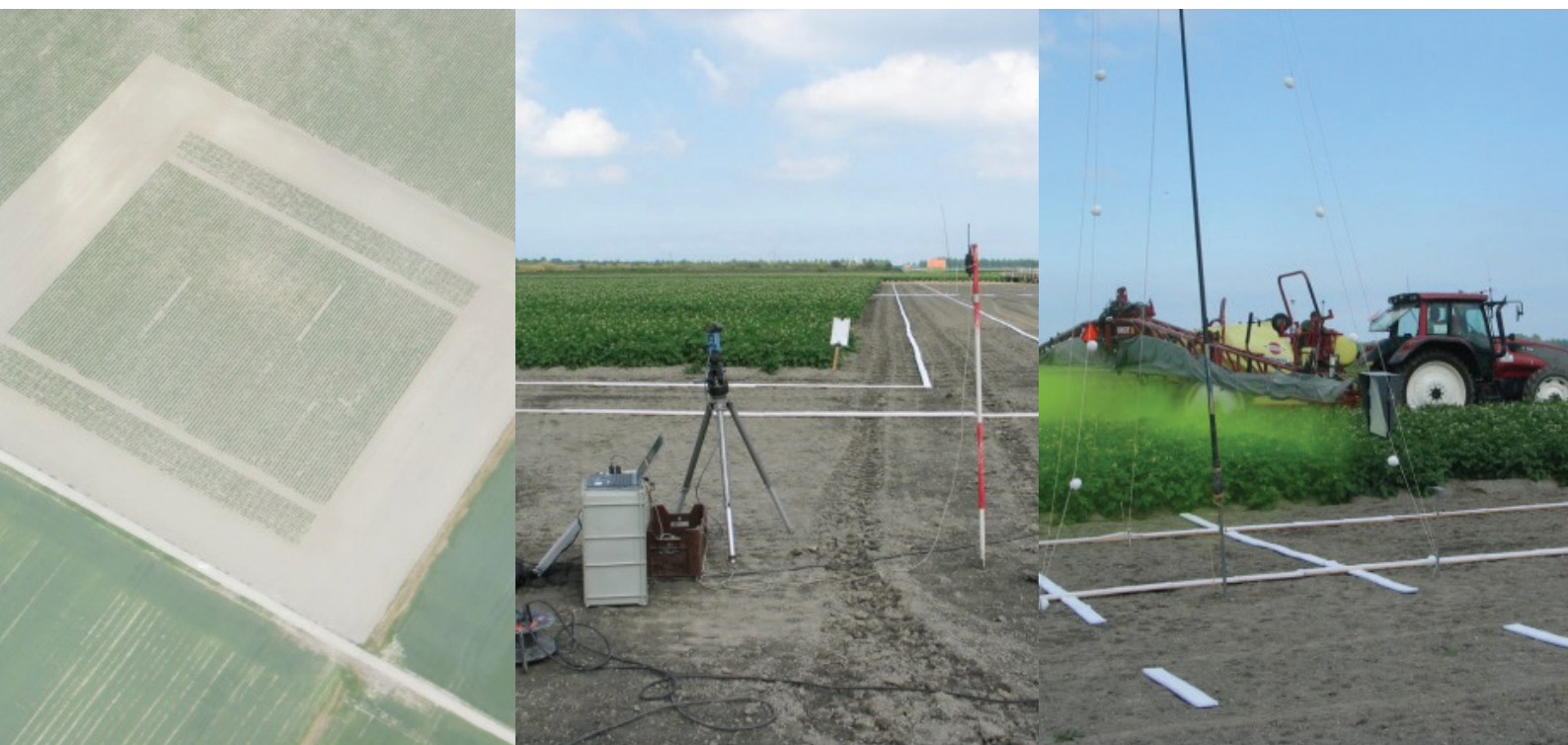




Het effect van spuitboombeweging en windvector op de drift

Randvariatie metingen 2007-2008

T.T. Groot, H. Stallinga, J.M.G.P. Michielsen, P. van Velde & J.C. van de Zande





Het effect van spuitboombeweging en windvector op de drift

Randvariatie metingen 2007-2008

T.T. Groot, H. Stallinga, J.M.G.P. Michielsen, P. van Velde & J.C. van de Zande

© 2014 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Agrosysteemkunde.

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

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld.

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 16, 6700 AA Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 06 88
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.wageningenUR.nl/pri

Inhoudsopgave

	pagina
Abstract	1
Voorwoord	3
1. Introductie	5
2. Materiaal en methode	7
2.1 Proefopzet	7
2.2 Gegevens verwerking	8
2.2.1 Onduidelijkheid in plaats, tijd en windrichting	9
2.3 Het windveldmodel	10
2.3.1 Driftcurven	10
2.3.2 Drift als functie van spuitboomhoogte	11
2.4 Driftanalyse met windveld	13
2.5 Spuitboomhoogte als oorzaak van drift	13
3. Resultaten	15
3.1 Beschikbare gegevens	15
3.1.1 Correctie van de gegevens	16
3.1.2 Bepaling van de Lambda stijfheid parameter	17
3.1.3 Standaardfout op het windveld	18
3.2 Driftmodel	19
3.3 Correlatie in spuitboomhoogte	21
4. Discussie	25
5. Aanbevelingen	27
Samenvatting	29
Summary	31
Literatuur	33
Bijlage I. Vergelijking uitkomsten model I en model II met gemeten driftdepositie langs perceelrand	10 pp.
Bijlage II. Relatie geprojecteerde driftdepositie op 2 m en 5 m afstand en spuitboomhoogte	8 pp.

Abstract

T.T. Groot, H. Stallinga, J.M.G.P. Michielsen, P. van Velde en J.C. van de Zande, 2014. The effect of sprayer boom movement and windvector on spray drift deposition alongside the edge of field. Measurements 2007-2008. Wageningen UR-Plant Research International, WUR-PRI Report 605, Wageningen. 2014. 56p.

Spray drift measurements have been performed to quantify the effect of variations in wind angle and wind speed during application and the sprayer boom movement alongside the sprayed edge of the field on spray drift deposition alongside a sprayed potato field (2007-2008). Results of these spray drift measurements are used to develop spray drift models incorporating the effects of wind variability and sprayer boom movement on spray drift deposition. Measured spray drift deposition patterns are analysed based on the wind field and sprayer boom movements measured during the spray drift experiments. Models have been developed incorporating the variability of the windfield and the sprayer boom movement calculating the trajectories of individual packages of spray drift from discrete nozzle positions in time during the spraying of the edge of the field. The addition of sprayer boom movement in the spray drift model over wind field alone improved the calculated results of spray drift deposition variation alongside the field.

Keywords: spray drift, spray technique, wind speed, wind direction, sprayer boom movement, spray drift model

Voorwoord

Ter onderbouwing van de variatie in drift langs de perceelsrand zijn oriënterende veldmetingen uitgevoerd voor het identificeren van effecten van de windhoek en de drift bij aanloop aan/uitzetten van de bespuiting (2007-2008). De resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor het ontwikkelen van driftmodellen die gebruik maken van de variatie in windsnelheid en richting (het windveld) en de spuitboombeweging bij een bespuiting langs de rand van een perceel. De uitkomsten kunnen gebruikt worden voor een meer probabilistische benadering van de drift in verder te ontwikkelen driftmodellen. Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het beleidsondersteunende onderzoeksprogramma van het Ministerie van Economische Zaken (BO-20-002-003; Blootstelling van waterorganismen ikv NL en EU toelating (Driftdepositie).

Wageningen, december 2014

1. **Introductie**

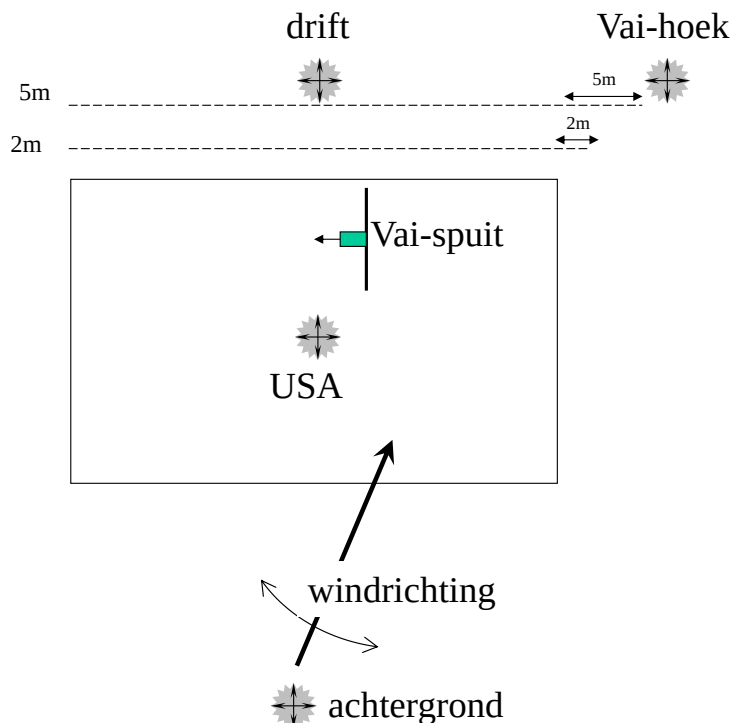
De drift depositie tijdens een bespuiting langs een gewasrand vertoont grote verschillen als gevolg van de variatie in de lokale windsnelheid, rijsnelheid en spuitboomhoogte. Een driftmeting wordt volgens een standaard protocol op één plaats aan de rand van het perceel gemeten maar de werkelijke driftdepositie tijdens een bespuiting langs de rand van het perceel kent veel variatie (Zande *et al.*, 2006). Bij gebruik van een specifieke spuittechniek kan de drift naast de meetplek anders zijn. Dit komt door de variërende windsnelheid en windrichting maar vooral ook door de spuitboombewegingen van de veldspuit. Om de grootte van de variatie in driftdepositie langs het perceel vast te leggen werden driftmetingen over grote lengte langs de perceelsrand gedaan (Stallinga *et al.*, 2014). Hierbij werd tevens meegenomen wat de start en stop effecten van de bespuiting zijn aan begin en eind van een spuitbaan. Door de metingen over de volledige benedenwindse zijde van een perceel uit te voeren werd een indruk gekregen van de totale variatie in drift rond een perceel. Op grond van deze eerder uitgevoerde metingen kan een relatie gelegd worden met de spuitboombeweging en de meteorologische omstandigheden gedurende de metingen. Volgens het driftmeet protocol (ISO 22866 2005, CIW 2003) moet de driftdepositie op grondoppervlak op stroken met collectoren loodrecht op de rand van het veld gemeten worden. In de metingen die in deze rapportage besproken worden zijn deze metingen gedaan maar zijn er ook stroken met collectoren langs de rand van het veld gelegd (Stallinga *et al.*, 2014). Hierbij werd de driftdepositie op 2 m en op 5 m afstand over de gehele lengte van het bespoten perceel langs de rand van het gewas gemeten. Zo is het mogelijk de variatie van de driftdepositie in de rijrichting van de spuit weer te geven. Met meerdere windsensoren is de windsnelheid en richting op verschillende locaties in het veld gemeten. In dit rapport wordt dit drift patroon gereproduceerd en geanalyseerd aan de hand van de gemeten windgegevens en spuitboom bewegingsmetingen uitgevoerd tijdens de driftmeting.

2. Materiaal en methode

2.1 Proefopzet

De metingen zijn uitgevoerd op de Oostwaardhoeve (Slootdorp Wieringermeer) in 2007 en 2008. De ISO-standaard met aanpassingen voor de Nederlandse situatie (ISO 22866 2005, CIW 2003) is hiervoor gebruikt. De drift is gemeten op het grondoppervlak benedenwinds van het bespoten aardappelveld. De breedte van de spuit (Hardi Twin Force) was 24 m en de lengte van de bespoten baan tenminste 75 m (Zande *et al.*, 2006). De gemiddelde gewashoogte en de afstand van de laatste dop tot de buitenste bladeren van het gewas is gemeten. De metingen zijn gelijkmatig over het groeiseizoen van het gewas gedaan in 2007 en 2008. Aan de spuitvloeistof is de tracer Briljant Sulfo Flavine (BSF 3,0 g/l) en de uitvloeier Agral toegevoegd. De driftdepositie is gemeten met horizontale collectoren volgens de standaard meet methodiek en met twee rijen collectoren op 2 m en 5 m afstand langs de rand van het bespoten veld (Stallinga *et al.*, 2014). De gebruikte collectoren (Technofil TF-290) zijn van de afmetingen 0,50x0,10 m en 1,00x0,10 m. De BSF is van de collectoren gewassen en de BSF-concentratie in oplossing is gemeten met een fluorimeter (Perkin Elmer LS45). Een gewas aardappel is met een veldspuit bespoten uitgerust met XR110-04 en DG110-04 spuitdoppen en een spuitdruk van 3 bar met en zonder luchtondersteuning.

Tijdens de experimenten in 2007 zijn twee meteorologische masten gebruikt met op 3 hoogten cup anemometers (drift en achtergrond). Voor de experimenten in 2008 zijn 5 verschillende meteorologische meetmasten gebruikt. De posities van de masten verschilden per dag. Iedere dag is geprobeerd de drift te meten aan de twee zijden van een hoek van het perceel aan de benedenwindse zijde van het veld. Het veld had aan iedere benedenwindse zijde een plaats waar de standaard driftmetingen uitgevoerd werden.



Figuur 1. Schematische weergave van de positie van de meteorologische meetmasten. De 'drift' meetopstelling en mast verplaatste mee met de zijde van het veld waarlangs de bespuiting werd uitgevoerd.

De 5 meteorologische meetmasten bestonden uit twee meetmasten met op 3 hoogten cup anemometers (drift en achtergrond), een 3D-ultrasoon anemometer (USA), een ultrasoon anemometer (Vai-hoek) en een ultrasoon anemometer op de spuit (Vai-spuut). De drift meetmast is op de plaats bij de standaard driftmetingen gezet, de achtergrondmast op grotere afstand meestal aan de overkant (bovenwindse zijde) van het bespoten veld. De USA was in het midden van het veld opgesteld en de Vai-hoek meetmast aan het begin van de lange zijde (Figuur 1). Daarnaast zijn bij de uitwerking van de resultaten de uurgemiddelde weersgegevens van 3 KNMI weerstations (Ijmuiden, Berkhout en de Kooy) gebruikt, gelegen rondom het proefveld, om de gemiddelde windvector voor het gebied te bepalen. De windrichting in de metingen van de achtergrond mast en de driftstrook mast zijn uitgedrukt in een hoek ten opzichte van de normaal op de veldrand.

De ultrasoon sensoren op de hoek van het veld en op de spuitboom (Vai-hoek en Vai-spuut) geven een gemiddelde, een minimum en maximum waarde van de windrichting en windsnelheid. Alleen de gemiddelde windsnelheid en richting zijn gebruikt in de verwerking. Op het uiteinde van de spuitboom was een ultrasoon sensor geplaatst waarmee de hoogte van de spuitboom boven de kale grond langs de rand van het gewas is gemeten. Met een retro reflector op de spuitboom en een laser-afstand meter is de beweging van de spuitboom in de voorwaartse richting gemeten (inclusief de zwiepbeweging) vanaf een vaste opstelling aan één zijde van de bespoten strook bij de startpositie van de spuit.

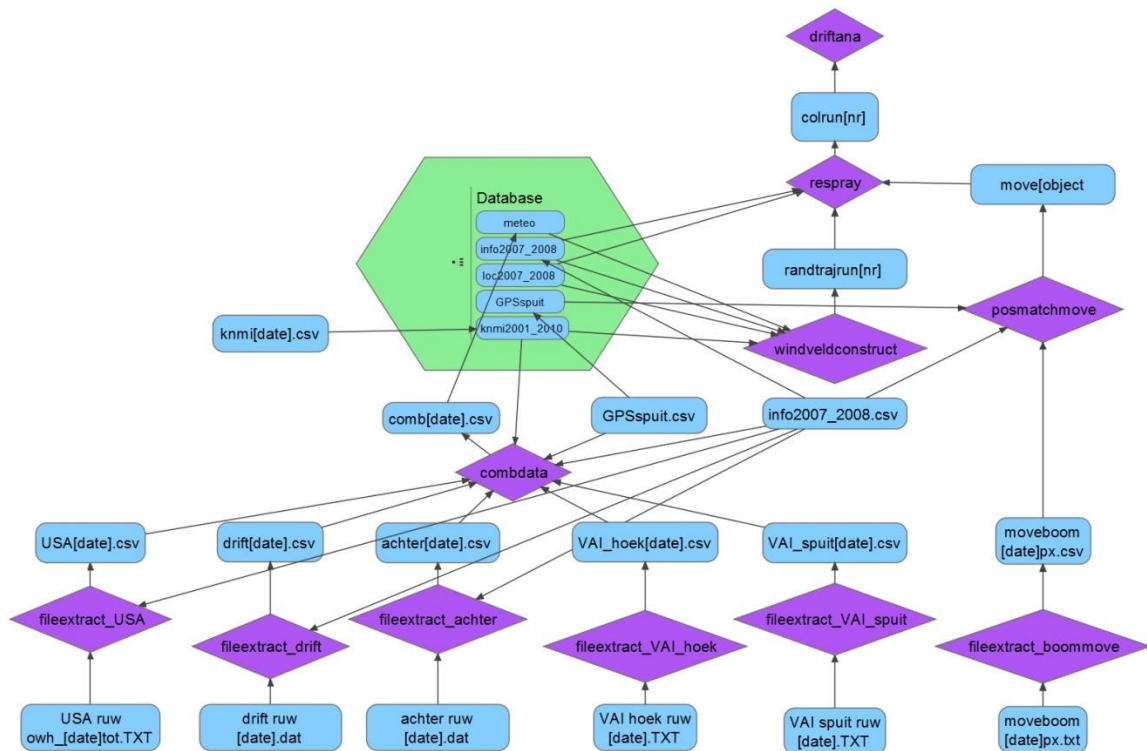
De tijdsresolutie van de USA, de Vai-hoek en de Vai-spuut meetmasten is 1 seconde. De resolutie voor de cup anemometers op de drift meetmast en de achtergrond meetmast is 5 seconden. De meteorologische gegevens zijn verwerkt met een tijdsresolutie van 1 seconde, de gegevens van de cup anemometers zijn daarvoor geïnterpoleerd. De kalibratie is toegepast op de gegevens van de cup anemometers voor de drift en de achtergrond meetmasten.

2.2 Gegevens verwerking

De gegevens uit de metingen bestaan uit metingen van windsnelheid, windrichting, GPS-posities van masten, veld en spuit, drift deposities, starttijden, afstanden etc. op 18 dagen en in 48 runs. De gegevens zijn met het programma R volgens het diagram om Figuur 2 in twee stappen gecombineerd tot één data file met alle relevante grootheden (comb[date], met [date] de datum id). In dit diagram is een script aangegeven met een parse ruit en een data file met een blauw rechthoek. De file info2007_2008.csv bevat de relevante meta-informatie als locaties van de masten en correcties op tijd en windrichting.

Van de ruwe gegevens is met de 'fileextract' scripts een tabel gemaakt en zijn correcties op de windrichting en tijd toegepast. Met het script 'combdata' zijn alle meteorologische gegevens samen gevoegd en geïnterpoleerd tot één gegevens set met een gemeenschappelijke tijdschaal (resolutie 1 seconde). De meteorologische gegevens, locaties en parameters zijn vervolgens in een MySQL-database geplaatst voor een efficiënte interface.

Met het script 'windveldconstruct' is met behulp van een 'Thin-plate-spline' functie voor iedere positie op de rand van het veld een trajectorie berekend over het tijdsinterval waarin de run is uitgevoerd. De tijdsresolutie is 1 seconde (hoogste tijdsresolutie voor deze meteorologische gegevens) en afstand tussen twee naast elkaar liggende veldrandpunten is enkele centimeters. In een parallelle verwerking zijn de beweging van de spuit en de spuitboomhoogte omgezet in een traject met een plaats resolutie van enkele centimeter. Met 'respray' is de positie van de spuit gecombineerd met de meteorologische gegevens. Met 'driftana' zijn de berekende en gemeten resultaten weergegeven.



Figuur 2. Structuur van dataverwerking zoals die in R is uitgevoerd. In blauw zijn de databestanden weergegeven met paarse ruiten de R-scripts waarmee de gegevens verwerkt zijn. Vanuit ruwe bestanden zijn de metingen per dag in csv-files geplaatst. Deze csv-files zijn als invoer gebruikt voor 'combdata' waarmee alle gegevens per dag in één bestand zijn samen gebracht (comb[date].csv). Vervolgens zijn de gegevens in een database gezet en gebruikt voor de berekening van de trajectoriën (randtrajrun[nr]). Parallel hieraan zijn de spuitboombewegingen verwerkt. In het 'respray' script zijn de meteorologische en spuitgegevens gebruikt om de drift te berekenen.

2.2.1 Onduidelijkheid in plaats, tijd en windrichting

De spuit was uitgerust met een GPS plaatsbepaling en produceert de tijd en de coördinaten in graden Latitude en Longitude. De coördinaten zijn geconverteerd naar het Rijksdriehoekselsel met een Excel-sheet van Ejo Schrama (oorspronkelijke link <ftp://ocean.lr.tudelft.nl/ejo/rd2wgs/rd2wgs.tar>). Alle locaties zijn met dit spreadsheet geconverteerd en kunnen daardoor een systematische fout bevatten t.o.v. een andere conversie maar dit maakt geen verschil voor de resultaten. De oorsprong van het coördinaten stelsel is de positie van USA-windsensor in het midden van het veld. De tijdsresolutie van de GPS op de spuit is 1 seconde voor de metingen uit 2007. Bij de metingen had iedere meteomast/sensor een eigen logcomputer en bij het loggen van de gegevens is de computertijd gebruikt voor de tijd. De tijd van de computers stond op zomertijd, wintertijd of UTC en daarbij kan daar nog enkele minuten verschil in zitten.

Een andere onzekerheid is de plaats van de VAI-hoek- of achtergrond-mast. Afhankelijk van de windrichting en windvoorspelling werd per dag gekozen welke zijde van het veld gebruikt werd om de driftmeting uit te voeren en de meetopstelling op te stellen. De plaats van de meetmasten werd daar op afgestemd (net als de drift-mast maar deze is altijd uit de gps-gegevens van de spuit te herleiden). Per meting is meestal bij gehouden waar deze masten stonden, in de gevallen waarvoor die gegevens niet zijn vastgelegd is een best guess voor de plaats van de masten gedaan.

De nul van de windrichting is loodrecht op de rand van het veld gekozen, voor metingen waarvan de plaats van de mast niet bekend was was dit niet mogelijk. Voor deze metingen is de windrichting van 3 KNMI masten gebruikt om de windrichting mee te corrigeren zodat deze grofweg correspondeert met die van de KNMI masten. Alle aanpassingen aan tijd en windrichting zijn in de meta-informatie bij de metingen verwerkt.

2.3 Het windveldmodel

De tijdschaal waarop drift plaats vindt wordt bepaald door de rijsnelheid van de trekker (ongeveer $1,6 \pm 0,05$ m/s) en de plaats resolutie waarmee de drift wordt berekend. In het model is de afstand van het uiteinden van de spuitboom tot de filterdoeken maatgevend voor de drift. Dit is gerealiseerd door voor iedere positie langs de veldrand een trajectorie te bepalen die de baan van een virtueel luchtpakketje beschrijft. De tip van de spuitboom beweegt zich daarbij langs de rand van het veld en de trajectoriën worden gesynchroniseerd met het moment van passage. Het snijpunt van de trajectoriën met de stroken filterdoek op 2 en 5 m van de rand van het veld bepaalt de driftafstand. De bijdrage aan de depositie van één positie van de spuit op een filterdoek volgt uit de driftcurve bij dat doptype (XR110-04 of DG110-04) en de toegepaste techniek (met of zonder luchtondersteuning).

In paragraaf 2.3.1 worden deze driftcurven beschreven. De depositie op dat filterdoek is de cumulatief van al deze deelbijdragen en wordt als totale som per filterdoek gegeven. De gebruikte filterdoeken in de 2 m en 5 m stroken zijn 0,5 m lang, om een goede cumulatief voor de depositie te berekenen zijn veel deeldeposities nodig, de veldrand is daarom opgedeeld in punten die grofweg 1 cm uit elkaar liggen en voor elk van die punten is een trajectorie bepaald.

Uit de rijsnelheid volgt dat een fout van 1 seconde in de tijd een onzekerheid van 1,6 m in de plaats van de trekker resulteert. In 1 seconde is het windveld niet veel veranderd maar een piek in de driftdepositie komt dan wel computers tot op de milliseconde met elkaar overeen komen, in 2007 was dit technisch nog niet mogelijk maar dat kan momenteel gerealiseerd worden door iedere computer een GPS-signaal mee te laten meten.

Behalve de driftafstand bepaalde ook de hoogte van de spuitboom boven het gewas voor een belangrijk deel de driftdepositie. De hoogte boven het veld is gemeten met een ultrasoon sensor (buiten het gewas) en de positie van de spuitboom met een laser afstand meting met retroreflector op de tip van de spuitboom (tijdsresolutie 10 ms.). In paragraaf 2.3.2 wordt het model voor hoogte en depositie gegeven. In de resultaten worden vervolgens twee modellen gegeven, model 1 waarbij de driftdepositie alleen met de driftafstand (zie paragraaf 2.3.1) bepaald is en model 2 waarbij driftafstand en spuitboomhoogte in de berekening gebruikt zijn.

2.3.1 Driftcurven

De hoeveelheid drift is het resultaat van verschillende factoren en technieken tijdens het spuiten, het beperken van de drift houdt daarom in dat deze factoren en technieken op een juiste manier moeten worden beïnvloed of ingezet. Aan de ene kant zijn er de meteorologische factoren als windrichting en windsnelheid waarop geen invloed is uit te oefenen maar waar wel randvoorwaarden aan gesteld kunnen worden (bijvoorbeeld door metingen alleen te starten binnen grenzen van windsnelheid en windrichting). Daarnaast zijn er technieken voor de spuit ontwikkeld die drift reduceren. Hiervan zijn de meest gangbare technieken: doptype, spuitboomhoogte en luchtondersteuning. Alleen is de toepassing van deze technieken niet onafhankelijk van elkaar. Als het effect wordt uitgedrukt relatief ten opzichte van een standaard techniek zal een combinatie van twee technieken minder of meer drift opleveren dan de som van de relatieve veranderingen in drift, de technieken zijn niet onafhankelijk. Het is daarom voorgeschreven dat de driftreductie alleen aan een complete toepassing bepaald kan worden (ISO 22866, 2006). Toch is het voor dit rapport noodzakelijk dat de drift reductie additief berekend kan worden omdat er onvoldoende onderling vergelijkbare metingen zijn waaruit de driftcurven bepaald kunnen worden. Voor de doptypen XR110-04 versus DG110-04, mét en zonder luchtondersteuning zijn er wel driftcurven (4 in totaal) maar deze zijn nog niet bij alle spuitboomhoogten uitgevoerd. De methodiek bestaat er dus uit dat deze vier drift reductie curven worden gebruikt en daar een spuitboomhoogte effect aan wordt toegevoegd (er is dus toch verondersteld dat spuitboomhoogte, luchtondersteuning en doptype onafhankelijk zijn).

De curve die de drift goed beschrijft is een dubbelexponent met de sigmoidefunctie (Groot *et al.*, 2012).

$$f(x) = \frac{A_0 e^{xA_1} + B_0 e^{xB_1}}{1 + C_0 e^{xB_1}}$$

Waarin $f(x)$ de benedenwindse depositie beschrijft (in % van toegepaste dosis), x de afstand tot de buitenste dop en A_0 , A_1 , B_0 , B_1 en C_0 de fitconstanten zijn. De fitconstanten zijn gegeven in Tabel 1. De fitfunctie is niet lineair, de parameters zijn daarom met een iteratief proces benaderd.

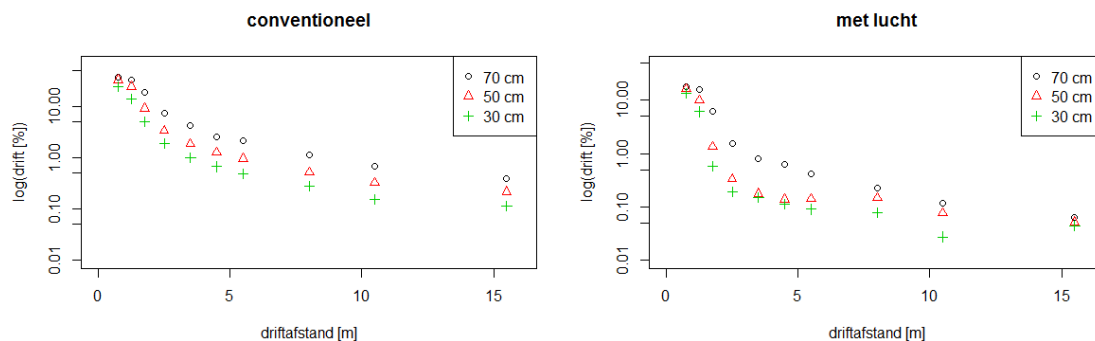
Tabel 1. De parameters die zijn gebruikt in de driftcurven. Omdat in dit geval C_0 nul is er alleen een dubbele exponent gefit.

lucht	doptype	A0	A1	B0	B1	C0
-	XR11004	2.66	-0.14	95.14	-1.43	0
-	DG11004	1.77	-0.16	101.35	-2.32	0
+	DG11004	0.10	-0.15	97.02	-4.34	0
+	XR11004	0.31	-0.31	93.39	-2.24	0

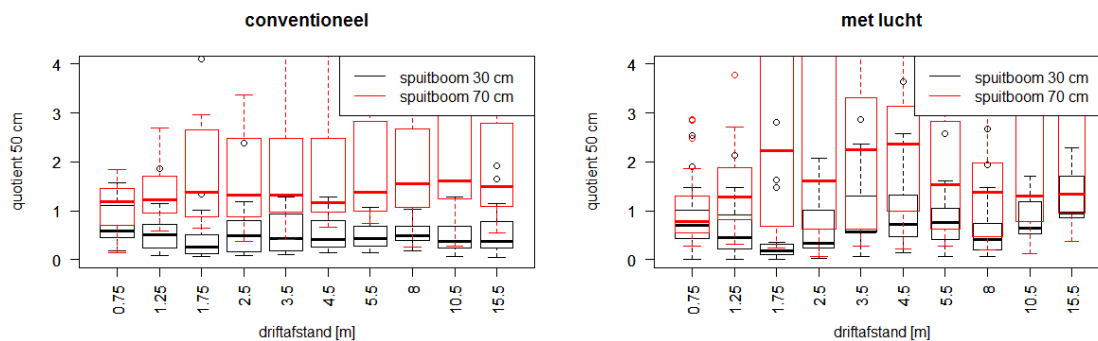
2.3.2 Drift als functie van spuitboomhoogte

Bij de randvariatie metingen is de hoogte van de spuitboom boven de grond gemeten (met een ultrasoon sensor). Drift neemt in het algemeen af wanneer de spuitboom hoogte lager wordt (De Jong *et al.*, 2000), in deze paragraaf is een functie van de drift bij een spuitboomhoogte van 30 en 70 cm, relatief ten opzichte van de drift bij een spuitboomhoogte van 50 cm, bepaald.

De metingen zijn in 1999 gedaan bij gewashoogten van 40 tot 55 cm (Figuur 3). Deze metingen zijn met en zonder lucht uitgevoerd maar alleen met de XR110-04 dop. Voor de randvariatie metingen willen we daarom nog een relatie hebben tussen drift en luchtondersteuning en drift en doptype (XR of DG dop). Om dan ook een relatie tussen spuitboomhoogte en driftdepositie te hebben voor de DG110-04 dop wordt er verondersteld dat de DG110-04 dop de zelfde relatie met luchtondersteuning heeft als de XR-dop (ook hier wordt onafhankelijkheid tussen dop, spuitboomhoogte en luchtondersteuning verondersteld omdat er geen metingen met de gecombineerde technieken gedaan zijn).

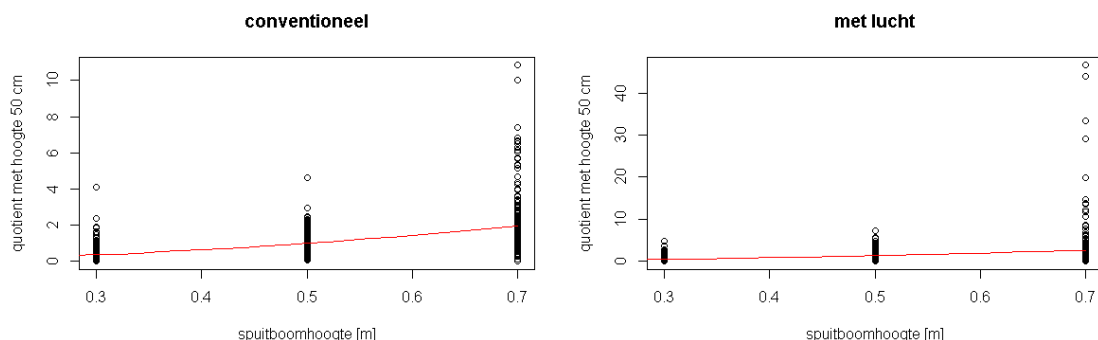


Figuur 3. Gemiddelde drift (in % uitgebrachte hoeveelheid) als functie van afstand voor 3 spuitboomhoogten. De metingen zijn met de XR110-04 dop gedaan.



Figuur 4. Quotiënt in drift van spuitboom op 30 cm en 70 cm hoogte voor een conventionele spuitmachine en een met luchtondersteuning met de drift met spuitboom op 50 cm hoogte.

In Figuur 4 is het quotiënt van de drift van de spuitboom op 30 en 70 cm hoogte met spuitboomhoogte op 50 cm weergegeven. Voor de metingen zonder lucht (conventioneel) blijft de verhouding van dit quotiënt over de volle driftafstand vrij constant, voor deze metingen is een model met een constant quotiënt te gebruiken. Voor de metingen met luchtondersteuning is een grotere variatie te zien (Figuur 4). Toch is er geen duidelijk trend zichtbaar (toename of afname) waardoor deze variatie een stochastische oorsprong zou kunnen hebben. Een model met een vaste verhouding tussen drift en afstand voor de verschillende spuitboomhoogten ligt daarom ook hier het meest voor de hand. In Figuur 5 is voor elke driftafstand de drift genormaliseerd met het gemiddelde van de drift van een 50 cm spuitboomhoogte en uitgezet tegen de spuitboomhoogte.



Figuur 5. Kwadratische fitfunctie op de drift van alle driftafstanden gedeeld door het gemiddelde van de drift met een spuitboomhoogte op 50 cm. De trend van de genormeerde drift met spuitboomhoogte is gegeven voor een conventionele spuitmachine en een met luchtondersteuning. De metingen zijn alleen met de XR110-04 dop uitgevoerd.

Er is een kwadratische functie als fitfunctie gebruikt:

- Zonder lucht $y = 4.0 \cdot \text{hoogte}^2$ $R^2 = 0.6$
- Met lucht $y = 5.4 \cdot \text{hoogte}^2$ $R^2 = 0.2$

Voor de fit met luchtondersteuning is de R^2 laag maar de gemeten driftcurven van deze metingen zijn erg variabel.

2.4 Driftanalyse met windveld

Door middel van interpolatie zijn alle meteorologische- en locatiegegevens langs een identieke tijdschaal gelegd met een tijdsresolutie van 1 seconde. De positie en boombeweging zijn t.o.v. het traject van de spuit gegeven (spuitboom loodrecht op pad met vaste spuitboomlengte).

Uit de windrichting en snelheid zijn de trajectoriën van de luchtpakketjes langs elk van de meteomasten berekend. Voor elke fit wordt een tijdshistorie van 15 seconden langs de trajectorie voor elke meteomast meegenomen. Snelle variaties in windrichting en snelheid middelen zo uit. In de dataverwerking zijn windrichting en snelheid uitgedrukt in vectoren met een x- en y- component. Ieder punt in het veld heeft dan een x- en y-locatie en een x- en y-component van de windvector.

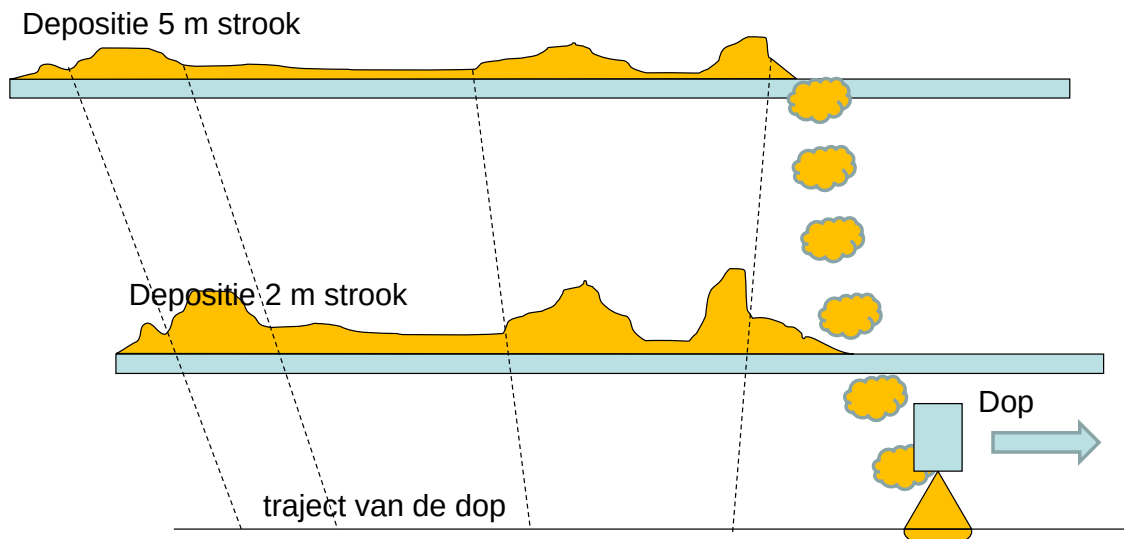
Met een Thin Plate Splines (TPS) wordt een oppervlak door een set punten in een driedimensionale ruimte gefit (op basis van de Krig functie). De functie minimaliseert de som van het kwadraat van het residu met behoud van 'smoothness'. Bij de fit worden de vectoren in het windveld opgesplitst in een x- en een y-component. In de z-coördinaat van de TPS wordt de te fitten parameter (x- of y-component van de windvector) geplaatst, het windveld wordt dus opgebouwd uit twee TPS'en één voor de x-component en één voor de y-component van de windveldvector.

In de TPS methode kan een stijfheid parameter van het oppervlak opgegeven worden, λ . Bij $\lambda=0$ volgt het oppervlak de opgegeven punten, bij $\lambda=\infty$ is het oppervlak stijf en benadert het een lineaire regressie. De stijfheid parameter is bepaald door het windveld te berekenen waarbij de metingen van één meteomast is weggelaten. Voor deze mast is met verschillende stijfheid parameters de berekende windvector vergelijkt met de gemeten windvector. De λ is gevarieerd tussen 10^{-10} en 10.

2.5 Spuitboomhoogte als oorzaak van drift

De oorzaak van drift is vaak moeilijk te achterhalen, spuitboomhoogte wordt veel als oorzaak gegeven maar dat is moeilijk te kwantificeren omdat de relatie met windrichting en snelheid zo ingewikkeld is. De oorzaak van veranderingen in de spuitboomhoogte zijn meestal oneffenheden in het rijspoor van de spuit en daarbij kantelingen van de spuit. Een andere oorzaak is een verlaging in het veld zelf, dit geval wordt de opbouw van de spuitkegel niet beïnvloed maar verandert de ruimte die de kegel krijgt, in het eerste geval beweegt de dop door de opgebouwde spuitkegel en komen de bovenste druppels in de spuitkegel plotseling buiten de spuitkegel te liggen. Het effect op de drift kan voor deze processen verschillend zijn.

Bij de randvariatie metingen is de driftdepositie op 2 m en 5 m naast de rand van het bespoten aardappelveld gemeten, daarnaast is de hoogte van de spuitboom boven de grond gemeten. De drift van de spuitvloeistof wordt meegevoerd met de wind en zorgt voor depositie op beide stroken. De structuur van de driftdepositie kan gebruikt worden om de plaats van de emissie te schatten (Figuur 6). Het is een aantrekkelijk idee om de correlatie van spuitboomhoogte met de driftdepositie te onderzoeken. Alleen is de windrichting tijdens de bespuiting vaak niet constant en kan op iedere positie van de spuit anders zijn. Door een terug projectie methode te ontwikkelen waarmee de correlatie tussen de depositie op 2 met een flexibele x-as wordt gereconstrueerd uit de depositie op 5 m kan de verstoring van een veranderende windrichting ongedaan gemaakt worden. De depositie op de 2 m strook wordt op het pad van de spuit tip geprojecteerd. De correlatie tussen spuitboomhoogte en de driftdepositie kan daarmee onderzocht worden.



Figuur 6. Het patroon van hoge en lage driftdepositie op de 2 m en 5 m strook vertoont grote gelijkheid. Uit deze patronen is de spuitboom locatie van emissie te berekenen.

Voor deze methode is de cumulatieve som van de depositie gebruikt. In de cumulatief liggen punten met een lage depositie dicht bij elkaar, een piek zorgt voor meer afstand tussen de punten op de cumulatief. Met clusteranalyse kunnen de groepen punten, die met elkaar corresponderen, gevonden worden. Eerst is de clustering van de depositie op 2 m berekend waarna deze clustercentra als beginwaarde voor de clusters in de depositie op 5 m worden gebruikt. De corresponderende groepen geven een richting aan waaruit de depositie afkomstig is daarmee kan de depositie op het traject van de spuitboom geprojecteerd worden en vergeleken worden met de spuitboom hoogte. Er worden 8 clusters verondersteld, via interpolatie wordt de positie van de punten van de 5 m strook op de 2 m strook gevonden.

3. Resultaten

3.1 Beschikbare gegevens

De randvariatie metingen zijn in 2007 uitgevoerd met 2 meteorologische masten, een GPS in de trekker en sensoren waarmee de spuitboombeweging gemonitord is. In 2008 zijn daar 3 ultrasoon windsensoren extra bij gekomen. In Tabel 2 geeft de kolom 'bruikbaar' geeft aan of de gegevens bij de run bruikbaar zijn voor modelleren.

Tabel 2. Beschikbare data, + = aanwezig, - = afwezig.

run	datum	object	herhaling	zijde	achter	drift	USA	Vai hoek	Vai spuit	GPS	doeken	boombew	bruikbaar
1	11-7-2007	XR-L	1	lang	+	+	-	-	-	+	+	+	j
2	11-7-2007	XR-L	1	kort	+	+	-	-	-	+	+	+	n
3	12-7-2007	DG-L	1	kort	+	+	-	-	-	+	+	+	j
4	12-7-2007	DG-L	1	lang	-	-	-	-	-	+	-	+	n
5	31-7-2007	DG-L	2	lang	-	+	-	-	-	+	+	+	j
6	31-7-2007	DG-L	2	kort	-	+	-	-	-	+	+	-	n
7	1-8-2007	DG+L	1	kort	+	+	-	-	-	+	-	+	j
8	1-8-2007	DG+L	1	lang	+	+	-	-	-	+	+	-	n
9	1-8-2007	XR+L	1	lang	+	+	-	-	-	+	+	+	j
10	1-8-2007	XR+L	1	kort	+	-	-	-	-	+	-	+	j
11	2-8-2007	XR-L	2	kort	+	+	-	-	-	+	-	+	j
12	2-8-2007	XR-L	2	lang	-	+	-	-	-	+	+	+	j
13	21-8-2007	DG+L	2	kort	-	+	-	-	-	+	+	+	j
14	21-8-2007	DG+L	2	lang	+	+	-	-	-	+	+	+	j
15	22-8-2007	XR+L	2	kort	+	+	-	-	-	-	+	+	n
16	22-8-2007	XR+L	2	lang	+	+	-	-	-	-	-	+	n
17	27-8-2007	XR+L	3	lang	+	+	-	-	-	+	+	+	n
18	27-8-2007	XR+L	3	kort	+	+	-	-	-	+	+	+	j
19	28-8-2007	XR-L	3	lang	+	+	-	-	-	+	+	+	j
20	28-8-2007	XR-L	3	kort	+	+	-	-	-	+	+	+	n
21	28-8-2007	DG-L	3	kort	+	+	-	-	-	+	+	+	j
22	28-8-2007	DG-L	3	lang	+	+	-	-	-	+	+	+	j
23	29-8-2007	DG+L	3	lang	+	+	-	-	-	+	+	+	j
24	29-8-2007	DG+L	3	kort	+	+	-	-	-	+	+	+	j
25	23-7-2008	XR-L	4	lang	+	+	+	+	+	+	+	+	j
26	23-7-2008	XR-L	4	kort	+	+	+	+	+	+	+	+	j
27	24-7-2008	XR+L	4	kort	-	+	+	+	+	+	+	+	j
28	24-7-2008	XR+L	4	lang	+	+	+	+	+	+	+	+	j
29	24-7-2008	DG-L	4	lang	+	+	+	-	+	+	+	+	j
30	24-7-2008	DG-L	4	kort	+	+	+	-	+	+	+	+	j
31	25-7-2008	DG+L	4	kort	+	+	-	+	+	+	+	+	j
32	25-7-2008	DG+L	4	lang	+	+	-	+	+	+	+	-	n
33	28-7-2008	DG+L	5	lang	+	+	+	+	+	+	+	+	j
34	28-7-2008	DG+L	5	kort	+	+	+	+	+	+	-	+	j
35	28-7-2008	DG-L	5	kort	+	+	+	+	+	+	+	+	j
36	28-7-2008	DG-L	5	lang	+	+	+	+	+	+	+	+	j
37	29-7-2008	XR+L	5	lang	+	-	-	+	+	+	+	+	j
38	29-7-2008	XR+L	5	kort	+	-	-	+	+	+	+	+	j
39	29-7-2008	XR-L	5	kort	-	+	+	+	+	+	+	+	j
40	29-7-2008	XR-L	5	lang	-	+	+	+	+	+	+	+	j
41	9-9-2008	XR-L	6	lang	+	-	+	-	+	+	+	+	j
42	9-9-2008	XR+L	6	lang	+	-	+	+	+	+	+	+	j
43	9-9-2008	DG-L	6	lang	-	-	-	-	-	+	+	+	n
44	10-9-2008	DG-L	6	kort	+	-	+	+	+	+	+	-	j
45	10-9-2008	XR-L	6	kort	+	-	+	+	+	+	+	+	j
46	10-9-2008	XR+L	6	kort	+	-	+	+	+	+	+	-	n
47	11-9-2008	DG+L	6	kort	+	-	+	+	+	+	-	+	j
48	11-9-2008	DG+L	6	lang	+	-	+	+	+	+	+	+	n

3.1.1 Correctie van de gegevens

De metingen van de meteorologische gegevens zijn elk met een losse computer uitgevoerd. De tijd van de verschillende computers is gesynchroniseerd maar soms bleken uit de metingen verschillen van één uur op te treden, soms was het verschil een paar minuten. Eén uur verschil is verklaarbaar als winter- zomer- of UTC-tijd door elkaar is gebruikt. Een tijdsverschil van een paar minuten bleek wanneer metingen aan een object niet met elkaar overlapt. In de gevallen dat een tijdsverschil duidelijk was is de tijd bijgesteld.

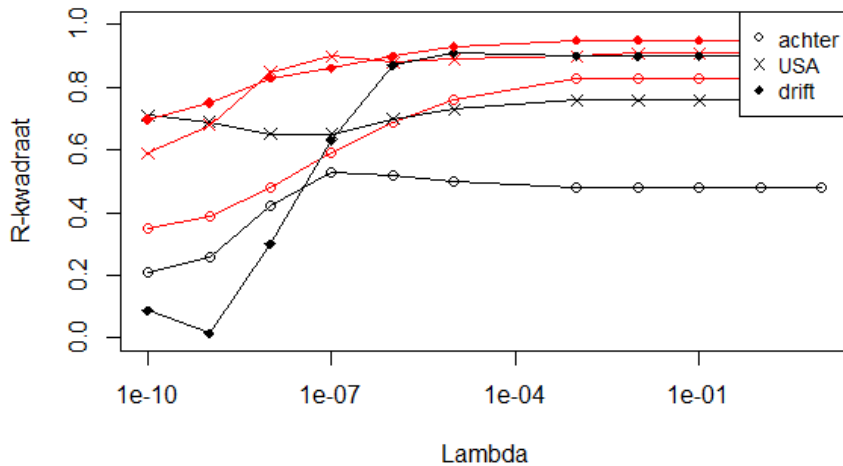
Modificaties in de windrichting zijn aangebracht om de windrichting van de sensoren globaal met elkaar in overeenstemming te brengen. De gemeten windrichtingen zijn globaal vergeleken met de windrichting van de KNMI stations IJmuiden, Berkhout en de Kooy en onderling met elkaar vergeleken en als daaruit een duidelijk verschil bleek is de windrichting aangepast. De modificaties zijn in Tabel 3 weergegeven.

Tabel 3. Modificaties die op tijd of hoek zijn toegepast.

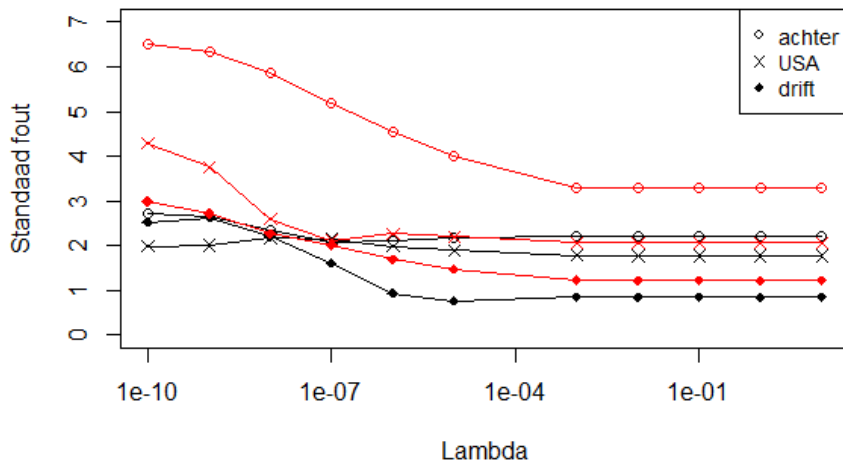
					aanp. tijd	aanp. tijd	aanp. tijd	aanp. hoek	aanp. hoek	aanp. hoek	aanp. hoek	aanp. hoek
					drift	Vai spuit	Vai hoek	drift	achter	USA	Vai spuit	Vai hoek
run	datum	object	volgnr	zijde	sec	sec	sec	graden	graden	graden	graden	graden
1	11-7-2007	XR-L	1	lang	0	0	0	40	110	0	0	0
2	11-7-2007	XR-L	1	kort	0	0	0	-90	60	0	0	0
3	12-7-2007	DG-L	1	kort	0	0	0	0	90	0	0	0
4	12-7-2007	DG-L	1	lang	0	0	0	0	-270	0	0	0
5	31-7-2007	DG-L	2	lang	0	0	0	30	0	0	0	0
6	31-7-2007	DG-L	2	kort	0	0	0	50	0	0	0	0
7	1-8-2007	DG+L	1	kort	0	0	0	-140	-50	0	0	0
8	1-8-2007	DG+L	1	lang	0	0	0	-200	0	0	0	0
9	1-8-2007	XR+L	1	lang	600	0	0	-70	120	0	0	0
10	1-8-2007	XR+L	1	kort	0	0	0	-50	120	0	0	0
11	2-8-2007	XR-L	2	kort	0	0	0	-30	60	0	0	0
12	2-8-2007	XR-L	2	lang	130	0	0	60	60	0	0	0
13	21-8-2007	DG+L	2	kort	100	0	0	0	-170	0	0	0
14	21-8-2007	DG+L	2	lang	100	0	0	-90	-140	0	0	0
15	22-8-2007	XR+L	2	kort	0	0	0	-40	140	0	0	0
16	22-8-2007	XR+L	2	lang	0	0	0	-130	140	0	0	0
17	27-8-2007	XR+L	3	lang	0	0	0	-30	-180	0	0	0
18	27-8-2007	XR+L	3	kort	0	0	0	-110	-180	0	0	0
19	28-8-2007	XR-L	3	lang	0	0	0	0	180	0	0	0
20	28-8-2007	XR-L	3	kort	0	0	0	90	180	0	0	0
21	28-8-2007	DG-L	3	kort	0	0	0	90	180	0	0	0
22	28-8-2007	DG-L	3	lang	0	0	0	-50	160	0	0	0
23	29-8-2007	DG+L	3	lang	0	0	0	0	180	0	0	0
24	29-8-2007	DG+L	3	kort	0	0	0	0	180	0	0	0
25	23-7-2008	XR-L	4	lang	0	375	0	0	-100	-180	50	-30
26	23-7-2008	XR-L	4	kort	-250	-185	0	50	0	-80	-160	90
27	24-7-2008	XR+L	4	kort	0	-120	0	0	0	-160	150	0
28	24-7-2008	XR+L	4	lang	0	-25	0	0	70	-160	-130	0
29	24-7-2008	DG-L	4	lang	0	0	-1700	0	70	170	-160	0
30	24-7-2008	DG-L	4	kort	0	-150	0	-30	70	170	120	0
31	25-7-2008	DG+L	4	kort	0	-110	0	0	170	0	150	0
32	25-7-2008	DG+L	4	lang	0	-145	0	0	80	0	-130	0
33	28-7-2008	DG+L	5	lang	0	-135	0	0	-150	160	0	0
34	28-7-2008	DG+L	5	kort	0	-150	0	50	-130	-100	-160	0
35	28-7-2008	DG-L	5	kort	-45	-100	0	0	180	-150	150	0
36	28-7-2008	DG-L	5	lang	0	-100	0	90	170	-60	-50	90
37	29-7-2008	XR+L	5	lang	0	-100	0	-999	-90	90	0	0
38	29-7-2008	XR+L	5	kort	0	-160	0	-999	30	90	-20	40
39	29-7-2008	XR-L	5	kort	0	-100	0	30	0	-130	0	50
40	29-7-2008	XR-L	5	lang	0	-150	0	0	0	-130	-100	50
41	9-9-2008	XR-L	6	lang	0	-900	0	0	10	180	180	0
42	9-9-2008	XR+L	6	lang	0	-900	0	0	50	180	-150	0
43	9-9-2008	DG-L	6	lang	0	-900	0	0	0	0	0	0
44	10-9-2008	DG-L	6	kort	0	-880	-850	0	-100	-180	0	-130
45	10-9-2008	XR-L	6	kort	0	-880	-880	0	-100	170	-30	-130
46	10-9-2008	XR+L	6	kort	0	-850	-850	0	-100	170	0	-130
47	11-9-2008	DG+L	6	kort	0	-880	-850	0	150	180	-60	150
48	11-9-2008	DG+L	6	lang	0	-880	-850	0	-110	180	-130	170

3.1.2 Bepaling van de Lambda stijfheid parameter

De stijfheid parameter voor de Thin-Plate-Spline (TPS) is bepaald uit run 25, voor deze run zijn gegevens voor de driftmast, de achtermast, de VAI-hoekmast, de VAI-spuut en de USA-sensor beschikbaar. Voor deze berekening is verschillende keren het windveld bepaald waarbij om beurten de gegevens van de driftmast, de achtermast of de USA-mast uit de TPS berekening gelaten zijn. De zo berekende windvector zijn vergeleken met die van de gemeten windvector. Uit de lineaire regressie tussen de berekende en gemeten vectorcomponenten is de R^2 en de standaard fout bepaald (Figuur 7 en Figuur 8). De R^2 is hoog en de standaard fout laag boven $\lambda=10^{-6}$. Omdat het wenselijk is de λ zo klein mogelijk te houden is voor λ de waarde 10^{-6} aangenomen.



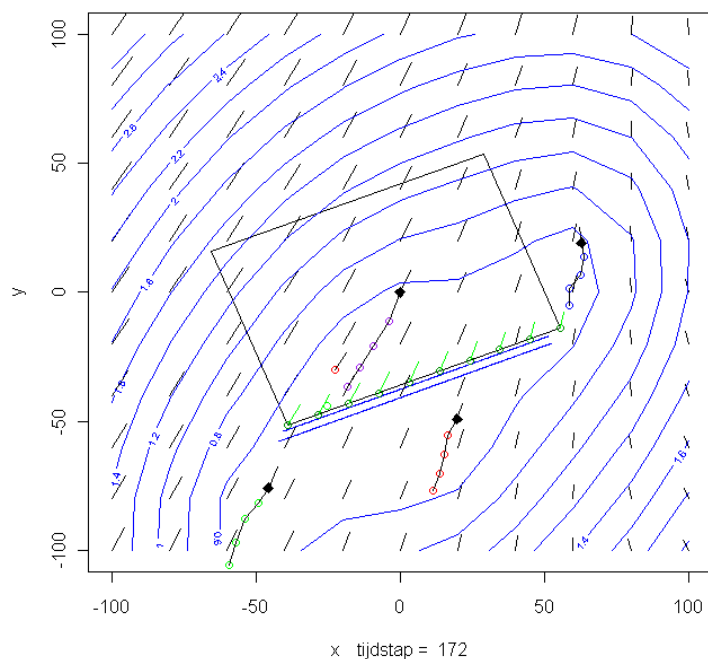
Figuur 7. R^2 van de lineaire regressie tussen de berekende en gemeten windvector componenten. De naam van de mast in de legenda is de mast die buiten de berekening is gehouden.



Figuur 8. Standaard fout van de lineaire regressie tussen de berekende en gemeten windvector componenten. De naam van de mast in de legenda is de mast die buiten de berekening is gehouden.

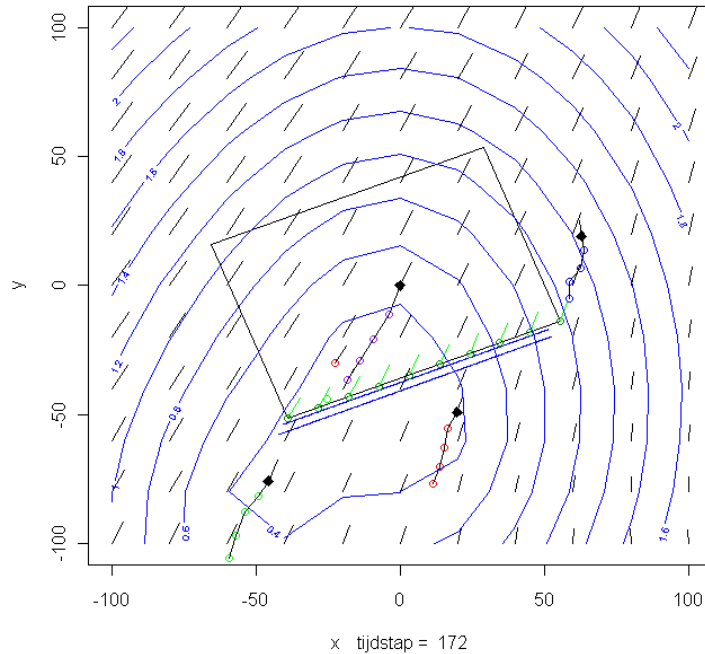
3.1.3 Standaardfout op het windveld

De standaardfout op de berekening van het windveld is afhankelijk van het aantal windmetingen waaruit dit windveld is opgebouwd en de spreiding van de punten over het veld. In Figuur 9 is het windveld berekend met gegevens van 5 meteomasten (drift, achter, USA, VAI-hoek en VAI-spuut). De contourlijnen (blauw) geven de standaardfout op het windveld. In het gebied waar de drift plaatsvindt, tussen de spuit en de driftstroken, is de standaard fout tussen 0,4 en 0,6 (Figuur 9), daarbuiten neemt de standaardfout snel toe.



Figuur 9. Contourlijnen van de standaardfout berekend voor run 25, tijdstap 172. Het windveld is berekend uit de meteorologische gegevens van de VAI-hoek mast, de drift-mast, de USA-mast de achter mast en de VAI-spuut. De laatste is zichtbaar als losse rode stip binnen het veld.

In Figuur 10 zijn de gegevens van meteomast 'achter' uit de berekening van het windveld gelaten. Het gevolg hiervan is dat de standaardfout tussen de overgebleven meteomasten kleiner is geworden (0.2 tot 0.4) maar de standaard fout van het windveld op de driftstrook buiten dat gebied is sterk toegenomen tot 1. Het is daarom van belang dat er metingen aan alle zijden van het te schatten windveld gedaan worden.



Figuur 10. Contourlijnen van de standaardfout berekend voor het zelfde tijdstip als Figuur 9. Bij de berekening van dit windveld zijn de gegevens van meteomast 'achter' (mast rechts in de figuur) niet mee genomen.

Het windveld berekend met de metingen uit 2008 zal een kleinere standaard fout hebben dan de metingen uit 2007 omdat hiervoor op minder plaatsen gemeten is.

3.2 Driftmodel

In paragraaf 2.3.1 en 2.3.2 zijn de relatie tussen drift en driftafstand (driftcurve) en drift en spuitboomhoogte, voor een XR en een DG dop met en zonder luchtondersteuning, afgeleid. Op basis van het windveld is voor iedere run de drift berekend met alleen de driftcurve (drift als functie van afstand) of de driftcurve met de spuitboomhoogte. In Bijlage I zijn de gemeten drift, drift berekent uit het windveld en alleen de driftcurve (model 1, Bijlage I: 'driftcurve') en de drift berekent uit het windveld, de driftcurve en het spuitboomhoogte (model 2, Bijlage I: 'curve + hoogte') gegeven. In Tabel 4 zijn de correlatie en een kwalitatieve beoordeling gegeven van de berekeningen met model 1 en model 2. Als gevolg van verschillende hiaten in de gegevens kon niet voor alle runs het resultaat berekend worden.

Tabel 4. Correlatie en kwalitatieve beoordeling van de berekende depositie van het driftcurve-model (model 1) en het 'curve+hoogte'-model (model 2). Bij de kwalitatieve beoordeling is globaal gekeken of de variatie in berekende depositie ongeveer correspondeert met de vorm van de gemeten depositie op de 2 m strook (Bijlage I).

run	datum	bespuit code	herhaling	kant	correlatie model 1	correlatie model 2	kwalitatief model 1	kwalitatief model 2
1	11-7-2007	XR-L	1	lang	0.45	-0.07	-	+
3	12-7-2007	DG-L	1	kort	0.12	0.14	-	-
5	31-7-2007	DG-L	2	lang	-0.40	-0.01	-	+
7	1-8-2007	DG+L	1	kort	-0.01	-0.02	-	-
9	1-8-2007	XR+L	1	lang	-0.09	-0.11	-	+
10	1-8-2007	XR+L	1	kort	0.36	0.41	-	+
11	2-8-2007	XR-L	2	kort	-0.12	-0.18	-	-
12	2-8-2007	XR-L	2	lang	0.15	0.09	-	+
13	21-8-2007	DG+L	2	kort	0.05	0.06	-	+
14	21-8-2007	DG+L	2	lang	-0.39	-0.11	-	+
18	27-8-2007	XR+L	3	kort	0.02	0.13	-	-
19	28-8-2007	XR-L	3	lang	0.04	0.07	-	+
21	28-8-2007	DG-L	3	kort	-0.14	-0.14	-	-
22	28-8-2007	DG-L	3	lang	-0.32	0.22	-	+
23	29-8-2007	DG+L	3	lang	0.03	0.02	-	-
24	29-8-2007	DG+L	3	kort	0.70	0.50	-	+
25	23-7-2008	XR-L	4	lang	-0.10	0.22	-	+
26	23-7-2008	XR-L	4	kort	0.14	0.19	-	-
27	24-7-2008	XR+L	4	kort	-0.15	-0.03	-	+
28	24-7-2008	XR+L	4	lang	-0.15	-0.15	-	-
29	24-7-2008	DG-L	4	lang	0.19	0.08	+	+
30	24-7-2008	DG-L	4	kort	-0.07	-0.25	-	-
31	25-7-2008	DG+L	4	kort	-0.25	-0.43	-	-
33	28-7-2008	DG+L	5	lang	-0.52	-0.16	-	-
34	28-7-2008	DG+L	5	kort	0.07	0.08	-	-
35	28-7-2008	DG-L	5	kort	-0.32	-0.26	-	-
36	28-7-2008	DG-L	5	lang	-0.24	-0.14	-	+
37	29-7-2008	XR+L	5	lang	-0.16	-0.15	+	+
38	29-7-2008	XR+L	5	kort	-0.15	-0.17	-	-
39	29-7-2008	XR-L	5	kort	-0.12	-0.15	-	-
40	29-7-2008	XR-L	5	lang	0.20	0.22	+	+
41	9-9-2008	XR-L	6	lang	-0.03	-0.12	+	+
42	9-9-2008	XR+L	6	lang	-0.16	0.09	-	+
44	10-9-2008	DG-L	6	kort	0.04	0.04	-	-
45	10-9-2008	XR-L	6	kort	-0.08	-0.06	-	-
47	11-9-2008	DG+L	6	kort	-0.14	0.00	-	-

De correlatie tussen gemeten en berekende driftdepositie is erg laag. Voor de kwalitatieve beoordeling van de berekende en gemeten driftdepositie op de 2 m strook scoort model 2 veel beter dan model 1. Het gebruik van de spuitboomhoogte lijkt daarom een belangrijke parameter in het model voor de driftdepositie. Bij de kwalitatieve beoordeling is meer gekeken of de variatie in berekende driftdepositie ongeveer correspondeert met de variatie in gemeten driftdepositie. Aan de plaats van de pieken is daarbij weinig waarde gehecht vanwege de grote onzekerheid in de meettijd en windrichting.

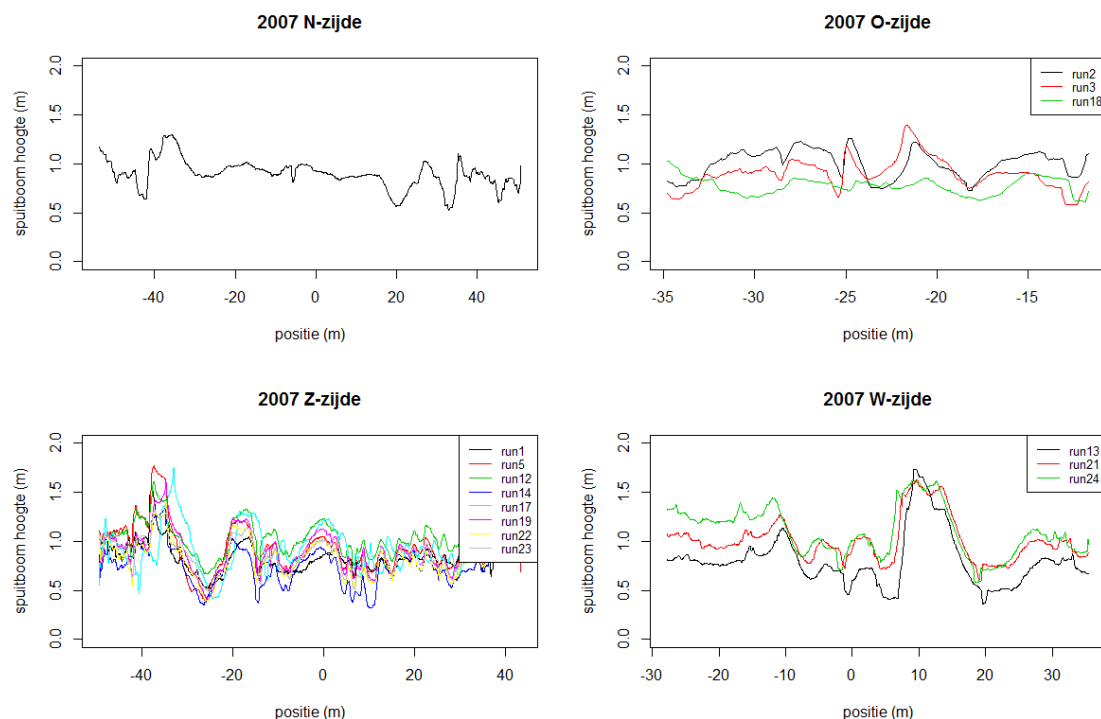
3.3 Correlatie in spuitboomhoogte

De spuitboomhoogte bij de randvariatie metingen laat in de meeste gevallen een sterk vergelijkbaar patroon zien (Figuur 11 en Figuur 12). Toch is de onderlinge correlatie tussen de runs niet altijd erg groot (Tabel 5). Een belangrijke oorzaak hiervan is dat runs met en zonder lucht ondersteuning van elkaar verschillen maar ook het doptype lijkt een verstoring te geven op de onderlinge correlatie.

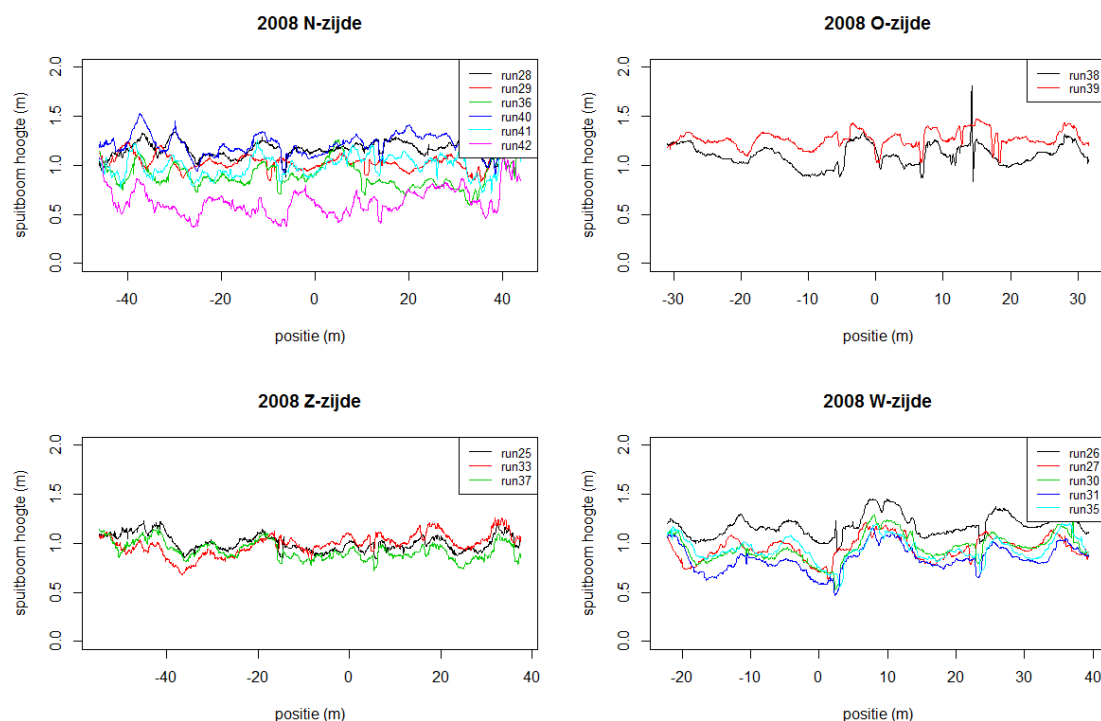
Het is aannemelijk dat de spuitboombeweging wordt veroorzaakt door de oneffenheden in het rijpad. Als ook wordt aangenomen dat de oneffenheden door een passage van de trekker vervormen wanneer het pad nat is impliceert dat een afname van correlatie als functie van de regenval. Een model met daarin de regen gevallen tussen de twee met elkaar vergeleken runs en de regen gevallen in de 5 dagen voor de eerste run geeft de beste voorspelling van de correlatie tussen twee runs ($p < 0.05$). Dat gaat op voor alle permutaties van de runs ($n = 58$, $R^2 = 0.11$) of voor alleen de runs zonder lucht ondersteuning ($n = 17$, $R^2 = 0.26$). Hiermee is het aannemelijk dat regen een belangrijke oorzaak is van een verandering in de spuitboombeweging maar tegelijk wordt er maar een klein deel van de spreiding verklaard. Veel andere modellen laten geen trend zien daarom lijken de metingen uit zichzelf een grote spreiding te hebben.

Tabel 5. Correlatie tussen de runs van de spuitboomhoogte.

zijde veld	jaar	aantal runs	permutaties	correlatie
N	2007	1	0	
O	2007	3	3	0.44
Z	2007	8	28	0.85
W	2007	3	3	0.93
N	2008	5	10	0.59
O	2008	2	1	0.65
Z	2008	3	3	0.50
W	2008	5	10	0.87
		30	58	0.69

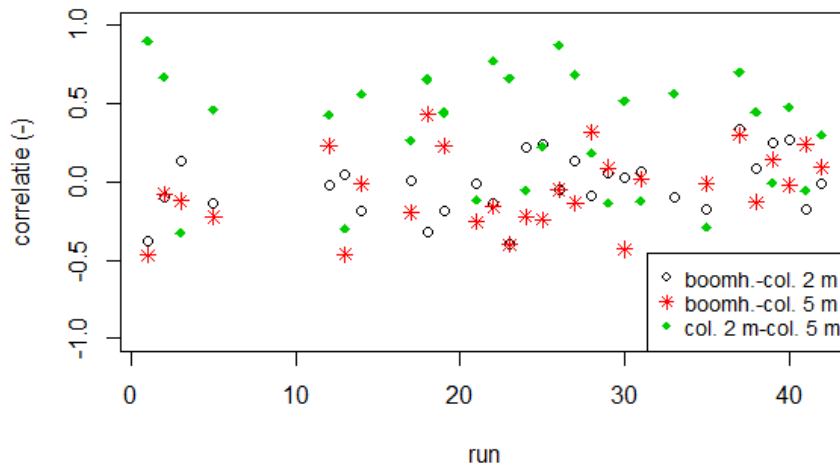


Figuur 11. *Patroon in spuitboomhoogte voor de metingen op verschillende zijden van het veld dat in 2007 gebruikt is.*



Figuur 12. *Patroon in spuitboomhoogte voor de metingen aan verschillende zijden van het veld dat in 2008 gebruikt is.*

Voor ons zijn de correlatie van de spuitboomhoogte en de driftdepositie op de collectoren op 2 m en 5 m van de rand van het veld interessant maar ook de correlatie tussen de driftdepositie op 2 en 5 m. In Figuur 13 zijn deze correlaties grafisch weergegeven. De correlatie van de driftdepositie op 2 m of 5 m met de spuitboomhoogte is in sommige gevallen positief en in andere negatief maar altijd niet erg hoog (~ 0.5). De correlatie tussen de driftdepositie op 2 m en de depositie op 5 m afstand is in veel gevallen veel beter.



Figuur 13. Correlatie tussen spuitboomhoogte (boomh.) en de driftdepositie op de collectoren (col.) op 2 m en op 5 m van de rand van het veld als functie van het run nummer. De correlaties zijn berekend met de niet-geprojecteerde metingen.

Met behulp van de terug projectie methode (paragraaf 2.5) is de gemeten driftdepositie op 2 m van de rand van het veld geprojecteerd op de baan van de spuit tip. In Bijlage II zijn voor iedere run twee figuren gegeven, de projectie richting en de projectie samen met de spuitboomhoogte. Een positieve trend tussen de spuitboomhoogte en de driftdepositie betekent dat een verhoging van de spuitboomhoogte een toename in drift geeft en een negatieve trend geeft aan dat een verhoging van de spuitboomhoogte een verlaging van de drift geeft.

In Tabel 6 zijn de coëfficiënten van de trend tussen boomhoogte en depositie op 2 m mét en zonder projectie gegeven met daarbij de significantie. De coëfficiënten zonder projectie geven in 1/3 van de gevallen een significante trend, met toepassing van de terug projectie methode wordt de helft van de trends significant. Opmerkelijk daaraan is dat zowel positieve als negatieve trends significant zijn. Dit correleert niet met wel of geen luchtondersteuning of de verschillende doppen. Hoewel de R^2 van deze significante regressies klein is, tussen de 0.05 en 0.2. Uit deze resultaten moet geconcludeerd worden dat een verandering in spuitboomhoogte zowel kan resulteren in een verhoging van de drift als in een verlaging maar dat de trend nog erg weinig van de variatie verklaart.

Tabel 6. De trend tussen spuitboomhoogte en de driftdepositie op de collector op 2 m en de trend van de projectie van de depositie op 2 m op de baan van de spuit tip. De kolom 'sign.' geeft de significantie van de trend, * voor $p < 0.05$ en ** voor $p < 0.01$.

run	datum	bespuit	trend	sign.	trend projectie	sign.
		code	boomh - col. 2m		boomh - col. 2m	
1	11-7-2007	XR-L	-1.67	**	-1.57	**
2	11-7-2007	XR-L	-0.27		-0.03	
3	12-7-2007	DG-L	0.88		0.90	
5	31-7-2007	DG-L	-1.46		-2.56	**
12	2-8-2007	XR-L	-0.33		-8.33	**
13	21-8-2007	DG+L	0.16		-0.66	
14	21-8-2007	DG+L	-0.56	**	-0.25	
17	27-8-2007	XR+L	0.06		-0.22	
18	27-8-2007	XR+L	-0.94	*	-0.77	
19	28-8-2007	XR-L	-1.64	*	-3.83	**
21	28-8-2007	DG-L	-0.03		-0.15	
22	28-8-2007	DG-L	-0.87		-2.53	**
23	29-8-2007	DG+L	-1.18	**	-0.28	
24	29-8-2007	DG+L	0.89	*	1.15	**
25	23-7-2008	XR-L	7.93	**	0.63	
26	23-7-2008	XR-L	-0.23		-0.21	
27	24-7-2008	XR+L	0.58		2.24	**
28	24-7-2008	XR+L	-0.71		2.42	**
29	24-7-2008	DG-L	0.84		3.23	**
30	24-7-2008	DG-L	0.09		1.44	**
31	25-7-2008	DG+L	0.28		-0.73	
33	28-7-2008	DG+L	-1.71		-5.83	**
35	28-7-2008	DG-L	-0.87		-0.99	*
37	29-7-2008	XR+L	1.94	**	2.00	**
38	29-7-2008	XR+L	0.95		2.39	*
39	29-7-2008	XR-L	2.14	**	-0.17	
40	29-7-2008	XR-L	3.20	**	5.47	**
41	9-9-2008	XR-L	-1.16	*	-1.76	**
42	9-9-2008	XR+L	-0.03		-1.16	**

4. Discussie

Het windveld bepaald uit de meteorologische metingen is goed bruikbaar om een windveld te bepalen en daarmee de driftdepositie te berekenen. De meteorologische metingen hebben een meetinterval van 1 of 5 seconden. De metingen met een 5 seconden interval zijn naar een tijdsas van 1 seconde geïnterpoleerd. Het windveld is gefit op de metingen in een 15 seconde tijdspanne van de trajectoriën. Daarbij is de stijfheidsparameter Lambda geschat op 10^{-6} voor de Thin-Plate-Spline. Bij een te grote stijfheid heeft de functie te weinig flexibiliteit maar bij een te kleine waarde zal er overfitting plaats vinden (ruis wordt meegefit). Ook is het belangrijk dat de windvectoren rondom het te meten gebied plaats vinden. Het extrapoleren van het windveld resulteert in een grote onzekerheid in de berekening.

In dit rapport zijn de randvariatie metingen op twee verschillende manieren uitgewerkt. In eerste instantie zijn de metingen gemodelleerd uit het windveld, met daarop een model van drift als functie van afstand (model 1) en een model met drift als functie van afstand en spuitboomhoogte (model 2). Hiermee is een kwalitatieve benadering van de driftdepositie gevonden. Het model met alleen de driftcurve (model 1) was niet in staat de modulatie te genereren die in de gemeten depositie is gevonden, model 2 was daar veel beter in. Dat de structuur niet exact matcht zal voor een groot deel het gevolg zijn van de onzekerheid in tijd en windrichting.

Een andere analyse is uitgevoerd waarbij de plaatselijke correlatie tussen de depositie op 2 en 5 m van de rand van het veld is gebruikt om de driftrichting te bepalen (onafhankelijk van de wind metingen). De driftrichting is gebruikt om de driftdepositie op de 2 m strook op het traject van de spuitboom te projecteren. Vervolgens zijn van de driftdepositie op de 2 m strook en de projectie van de driftdepositie de trend bepaald ten opzichte van de spuitboombeweging. Er blijkt dat de trend van de ongeprojecteerde driftdepositie in minder gevallen significant is dan die van de geprojecteerde. De projectie corrigeert daardoor het depositie patroon goed voor de verandering in de windrichting. Uit Tabel 6 moet geconcludeerd worden dat een verandering in spuitboomhoogte zowel kan resulteren in een verhoging van de drift als in een verlaging, dit zou op verschillende driftoorzaken kunnen duiden hoewel er maar een klein deel van de variatie wordt verklaard. Er kan een verschil in de hoeveelheid optredende drift optreden tussen een naar beneden bewegende spuitboom en een heuvel in het veld. In beide gevallen meet de hoogtesensor aan de tip van de spuitboom een kleinere hoogte onder de spuitboom maar in het ene geval slaat de dop in de spuitkegel waardoor de entrainment van druppels die net de spuitdop verlaten hebben wegvalt en in het andere geval treedt de facto een verlaging van de spuitboomhoogte op. Dit laatste is de relatie met drift die in paragraaf 2.3.2 is omschreven.

5. **Aanbevelingen**

Een aantal verbeterpunten bij de metingen zijn:

- Rust iedere datalogunit uit met een gps-sensor en log dat signaal mee zodat iedere meting beschikt over een gps-tijd. Deze tijd is altijd synchroon en hoeft niet te worden ingesteld.
- Plaats masten met de 0 graden op het noorden. Het is dan duidelijker wat de windrichting was ook als de positie van de mast niet bekend is. De 0-360 sprong kan beter met vectoriele ontbinding van de windvector bestreden worden dan met het aanpassen van de mastoriëntatie.
- Meet ook met een versnellingsmeter de beweging van de tip, zo kunnen variaties in de vlakheid van het veld worden onderscheiden van de kanteling van de spuitboom.

Samenvatting

Ter onderbouwing van de variatie in drift langs de perceelsrand zijn oriënterende veldmetingen uitgevoerd voor het identificeren van effecten van de windhoek en de drift bij aanloop aan/uitzetten van de bespuiting (2007-2008). De resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor het ontwikkelen van driftmodellen die gebruik maken van de variatie in windsnelheid en richting (het windveld) en de spuitboombeweging bij een bespuiting langs de rand van een perceel.

Standaard wordt de driftdepositie op grondoppervlak op stroken met collectoren loodrecht op de rand van het veld gemeten. In de metingen die in deze rapportage besproken worden zijn deze metingen gedaan maar zijn er ook stroken met collectoren langs de rand van het veld gelegd. Hierbij werd de driftdepositie op 2 m en op 5 m afstand over de gehele lengte van het bespoten perceel langs de rand van het gewas gemeten. Zo is het mogelijk de variatie van de driftdepositie in de rijrichting van de spuit weer te geven. Bij de bespuiting langs de rand van het gewas is de spuitboombeweging van de rijdende spuit over de lengte van het perceel vastgelegd. Met meerdere windsensoren is de windsnelheid en richting op verschillende locaties in het veld gemeten hierdoor kon er een windveld over het perceel met een tijdsresolutie van 1 seconde gepresenteerd worden. In dit rapport wordt het gemeten drift patroon langs de rand van het perceel gereproduceerd en geanalyseerd aan de hand van de gemeten windgegevens en spuitboom bewegingsmetingen uitgevoerd tijdens de driftmeting. Modellen zijn ontwikkeld die de trajectoriën beschrijven van drift pakketjes van discrete spuitdop posities tijdens de bespuiting van de rand van een perceel en de plek van depositie afhankelijk van de variatie in het windveld. Het opnemen van de spuitboom beweging in het driftmodel naast alleen het windveld resulteert in betere voorspellingen van de gemeten variatie in driftdepositie langs de perceelsrand.

Summary

To underpin spray drift variation alongside a sprayed field spray drift measurements have been performed to quantify the effect of variations in wind angle and wind speed during application and the sprayer boom movement alongside the sprayed edge of field including starting and stopping on spray drift deposition (2007-2008). Results of these spray drift measurements are used to develop spray drift models incorporating the effects of wind variability and sprayer boom movement on spray drift deposition. Standard spray drift experiments measure spray drift deposition in a line of collectors on soil surface cross to the driving direction. The described spray drift measurements additional had collectors laid out at continuous lines at 2 m and 5 m downwind from the crop edge alongside the sprayed field of potatoes. Variation in spray drift deposition is therefore quantified alongside the edge of the field. The wind speed and direction is measured in and around the field resulting in a wind field over the sprayed field with a time resolution of 1 second during application time. Sprayer boom movement is measured spraying the edge of the field combining vertical and horizontal movement of the spray boom during application. Measured spray drift deposition pattern is analysed based on the wind field and sprayer boom movements measured during the spray drift experiments. Models have been developed incorporating the variability of the windfield and the sprayer boom movement calculating the trajectories of individual packages of spray drift from discrete nozzle positions in time during the spraying of the edge of the field. The addition of sprayer boom movement in the spray drift model over wind field alone improved the calculated results of spray drift deposition variation alongside the field.

Literatuur

Zande, J.C. van de, H.J. Holterman, J.M.P.G. Michielsen & H. Stallinga, 2006.

Temporal and spatial variability of spray drift around a sprayed field, 2006, Aspects of Applied Biology 2006 (77), pp. 295-302.

Groot, T.T., H.J. Holterman & J.C. van de Zande, 2012.

A drift-calculation tool based on spray drift field measurements in field crops. International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology 2012 (114), pp. 215-223.

ISO 22866, 2005.

Equipment for crop protection – Methods for the field measurement of spray drift. Geneva: International Standardisation Organisation.

CIW, 2003.

Beoordelingsmethodiek Emissiereducerende maatregelen Lozingenbesluit open teelt en veehouderij. Commissie Integraal Waterbeheer, Werkgroep 4 Water en milieu, Den Haag. 82pp.

Stallinga, H., J.C. van de Zande, J.M.G.P. Michielsen & P. van Velde, 2014.

Variatie in drift langs een perceel, Veldmetingen in een perceel aardappelen 2007-2008, Wageningen UR, Plant Research International, WUR-PRI Rapport, Wageningen, 30 pp.

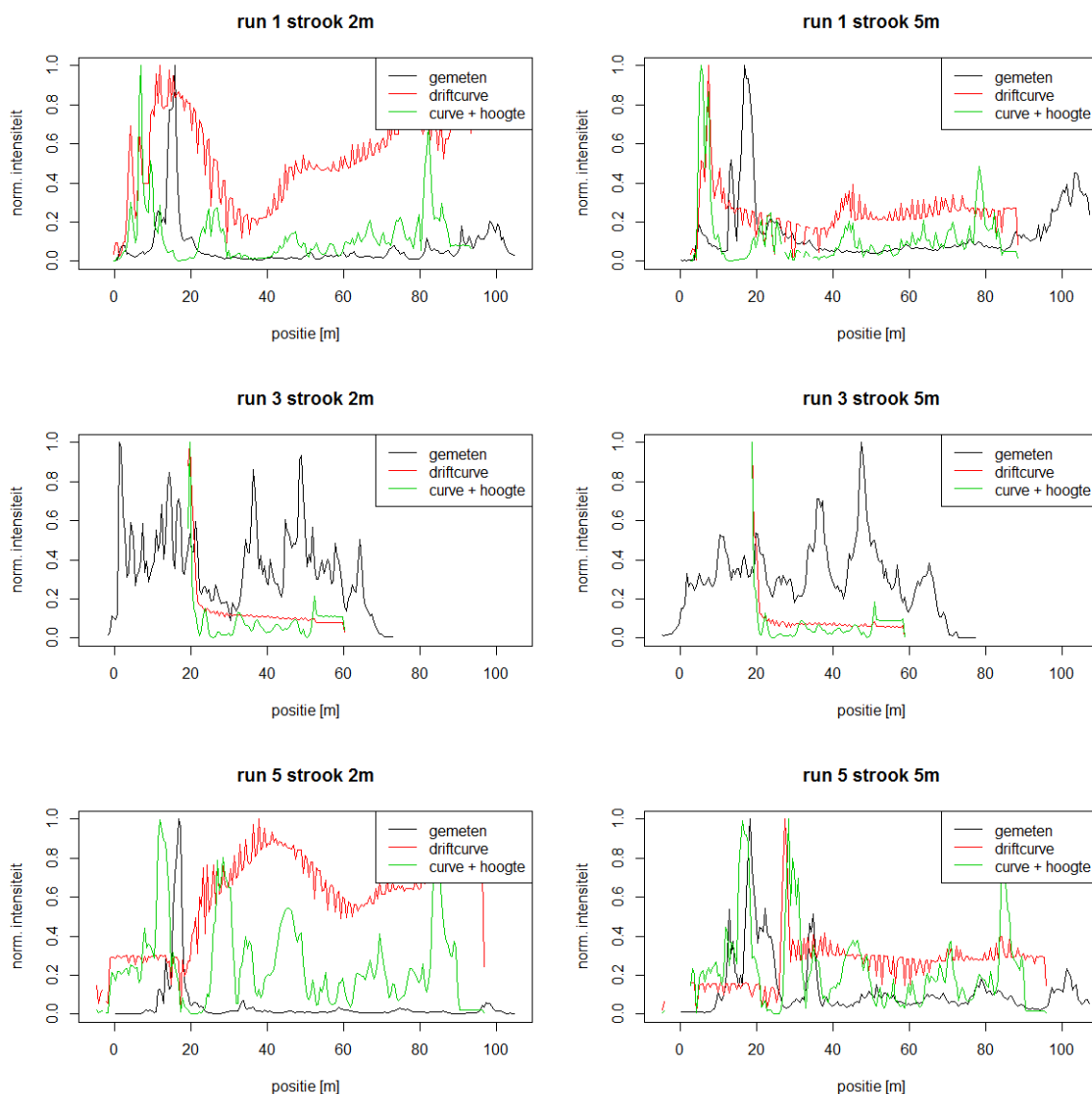
Jong, A. de, J.M.G.P. Michielsen, H. Stallinga & J.C. van de Zande, 2000.

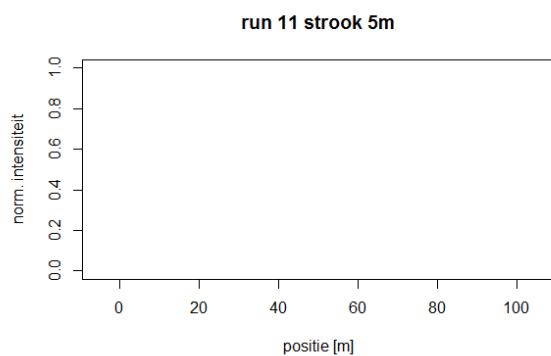
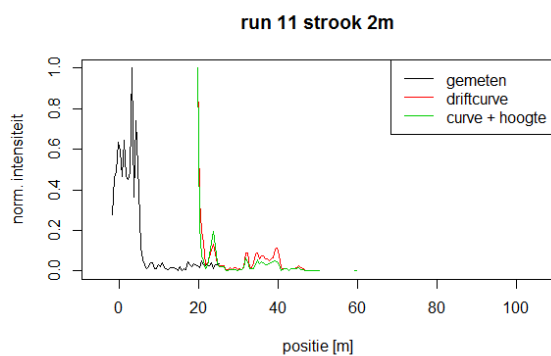
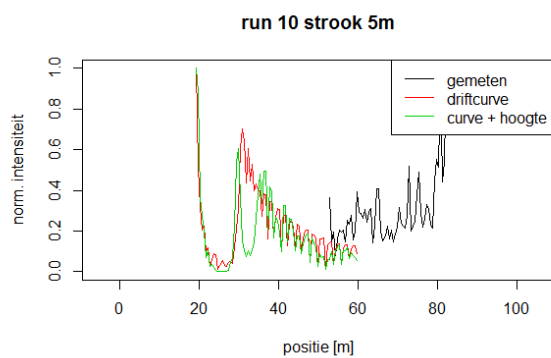
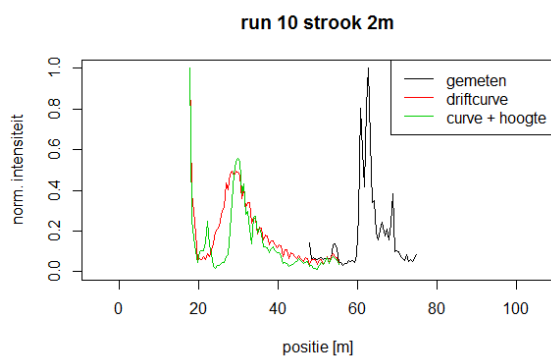
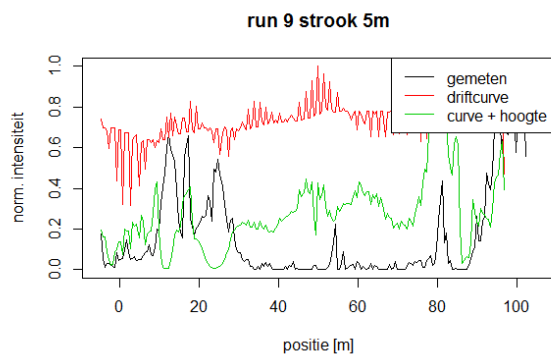
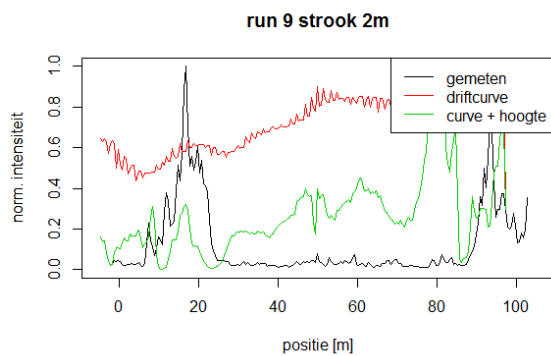
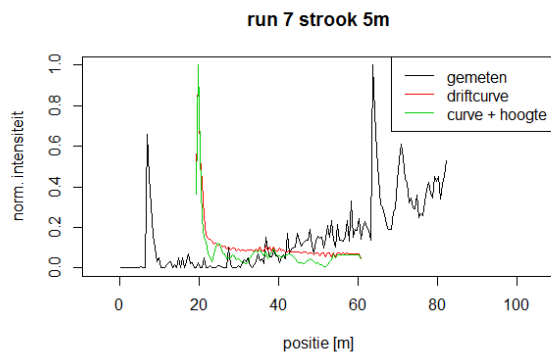
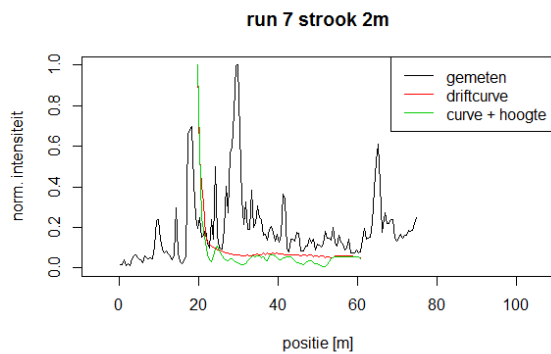
Effect of sprayer boom height on spray drift. Mededelingen Faculteit Landbouwwetenschappen, Universiteit van Gent, 65/2b, 2000. 919-930.

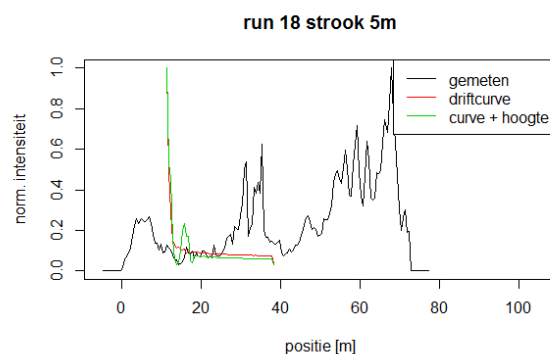
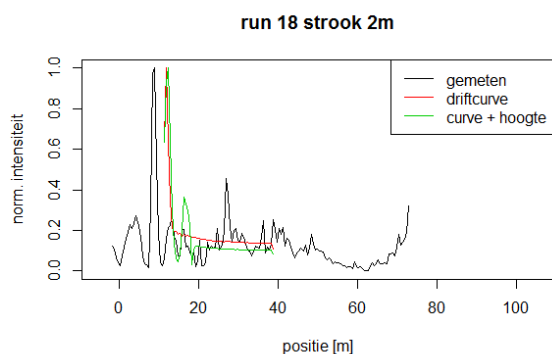
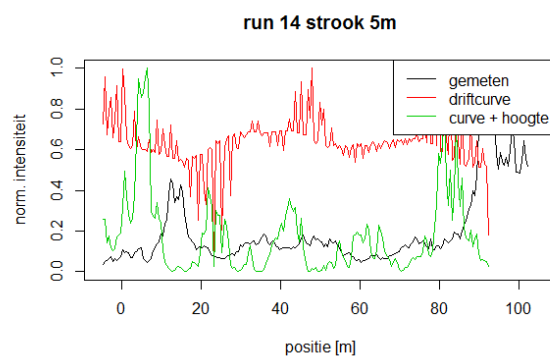
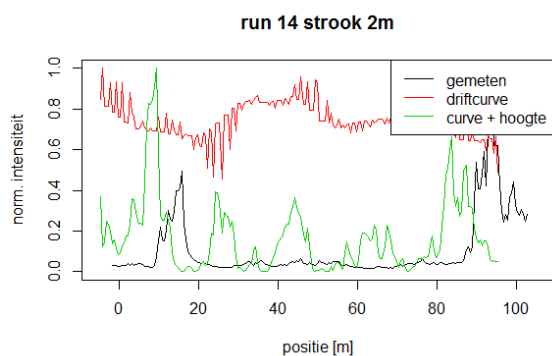
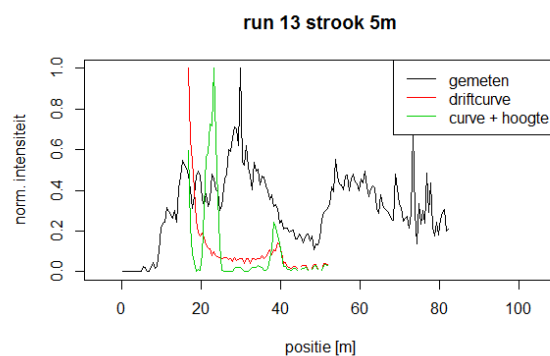
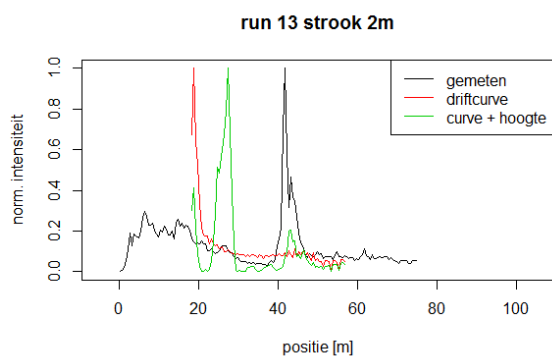
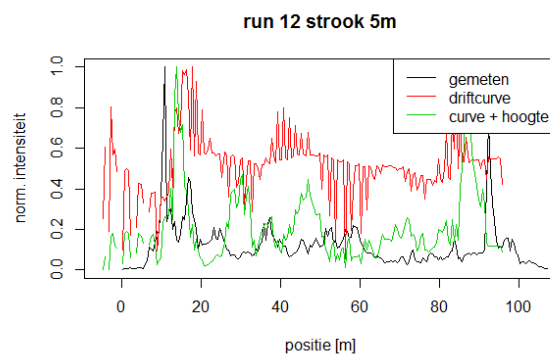
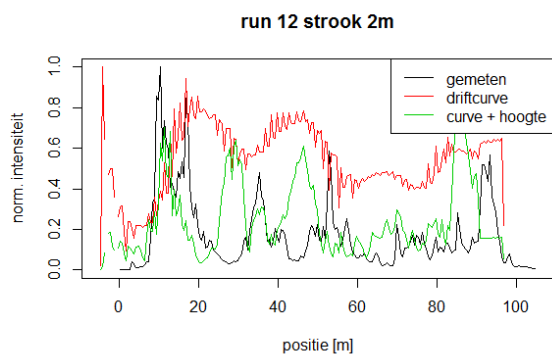
Bijlage I.

Vergelijking uitkomsten model I en model II met gemeten driftdepositie langs perceelrand

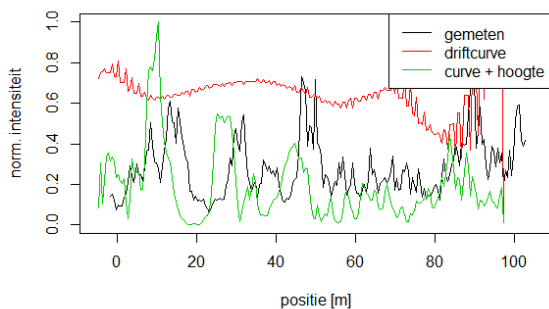
Driftdepositie gemeten met filterdoeken, in rood berekend op basis van alleen driftafstand (model 1) en in groen het model met driftafstand en de spuitboomhoogte (model 2). Alle curven zijn genormaliseerd naar het maximum in de curve. In de titel is het runnummer gegeven (figuren met driftana.r gemaakt). Links zijn de resultaten voor de 2 m strook gegeven, rechts die van de 5 m strook.



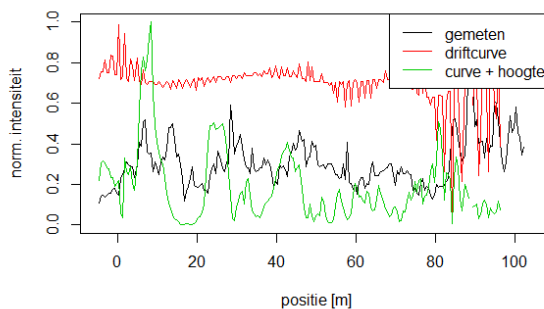




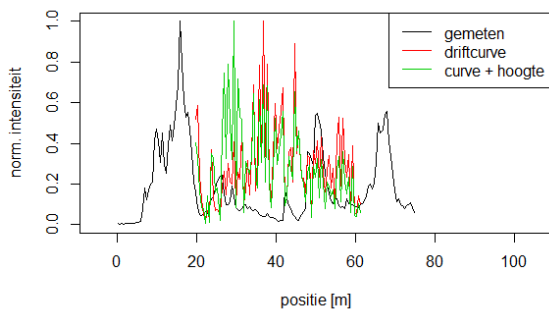
run 19 strook 2m



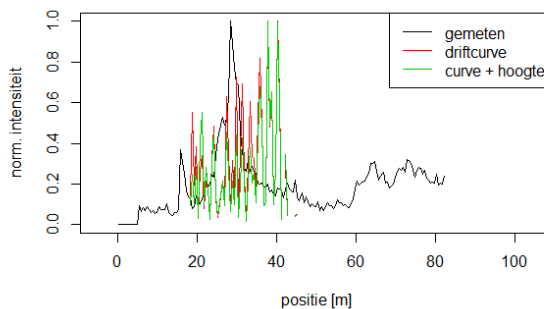
run 19 strook 5m



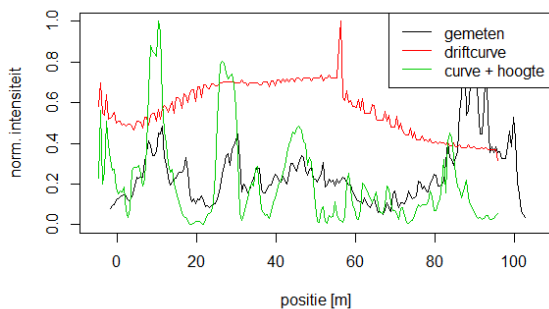
run 21 strook 2m



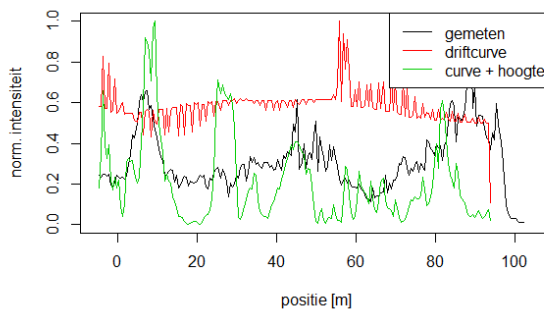
run 21 strook 5m



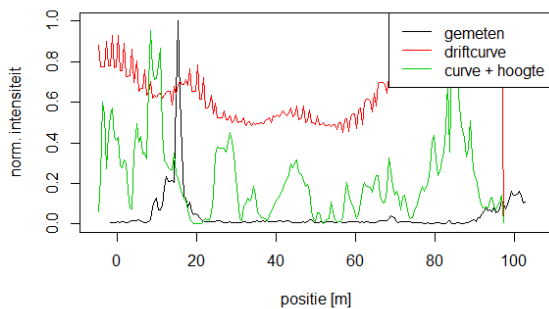
run 22 strook 2m



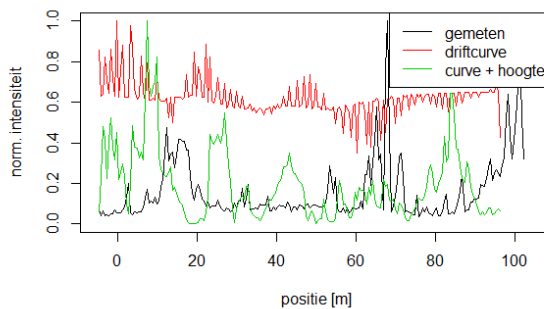
run 22 strook 5m

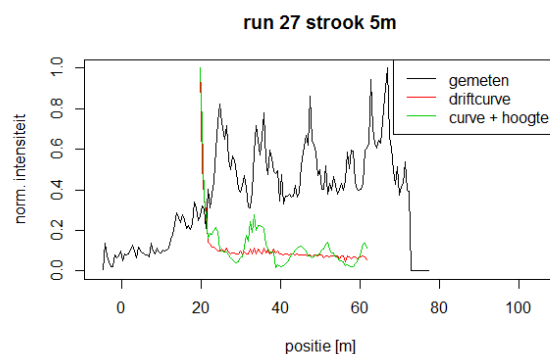
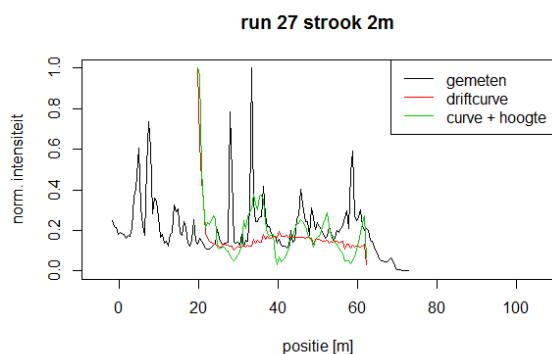
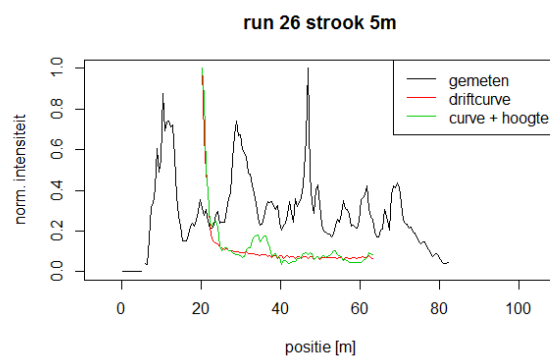
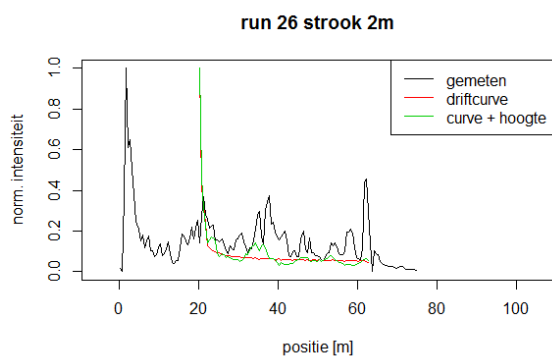
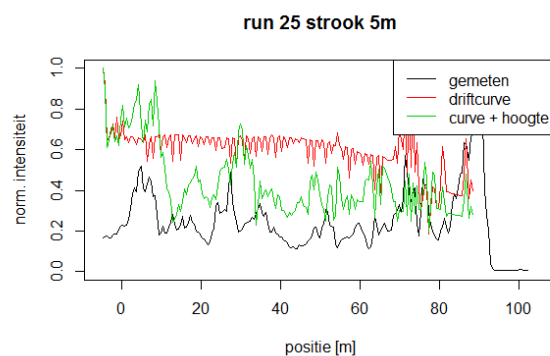
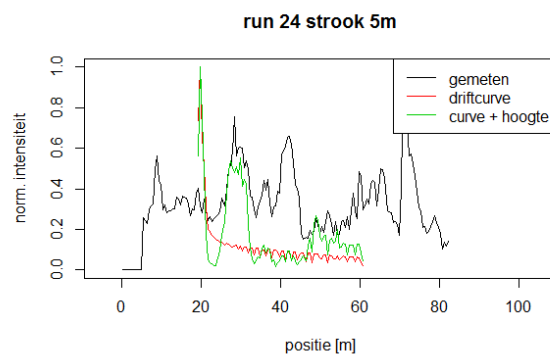
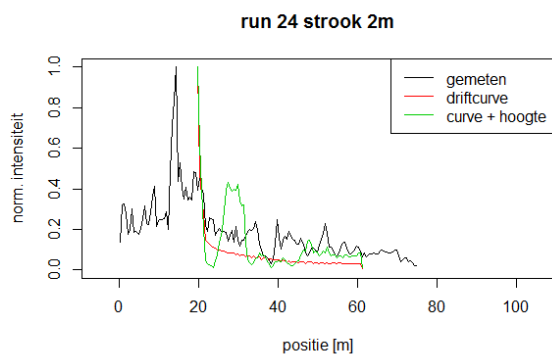


run 23 strook 2m

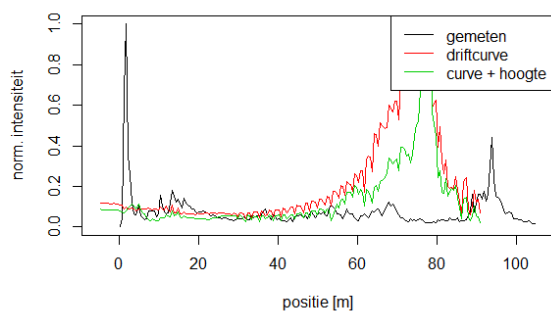


run 23 strook 5m

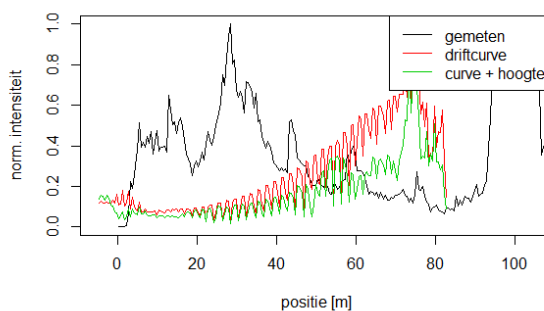




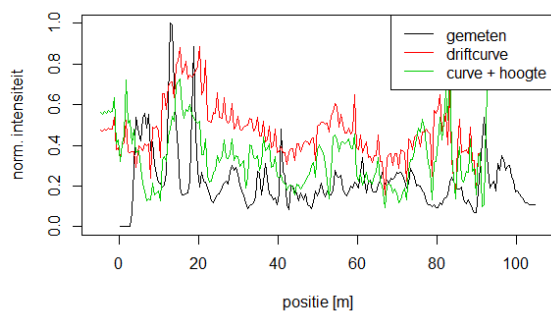
run 28 strook 2m



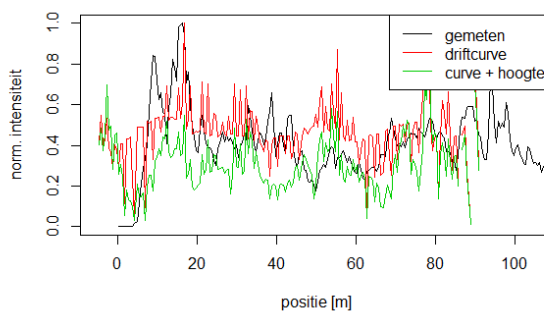
run 28 strook 5m



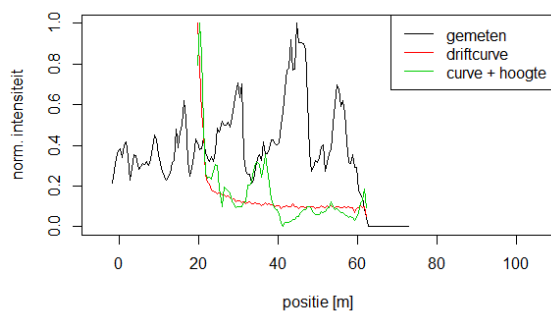
run 29 strook 2m



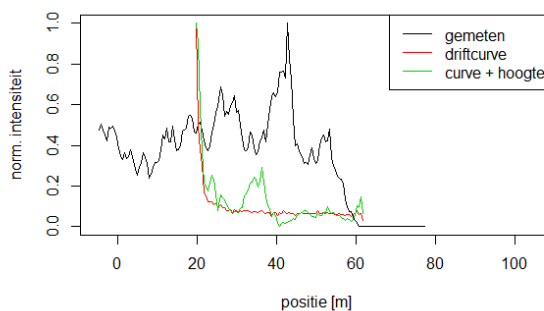
run 29 strook 5m



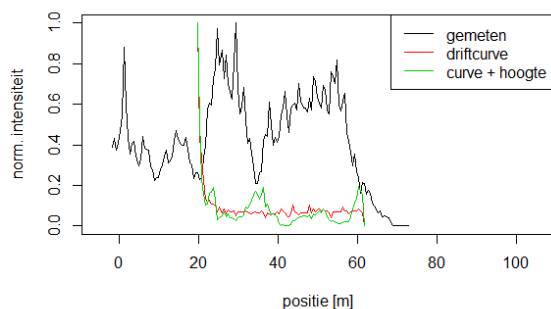
run 30 strook 2m



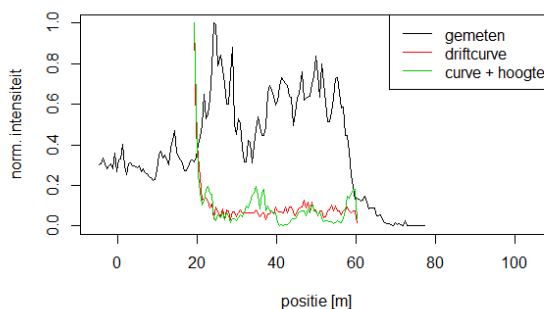
run 30 strook 5m

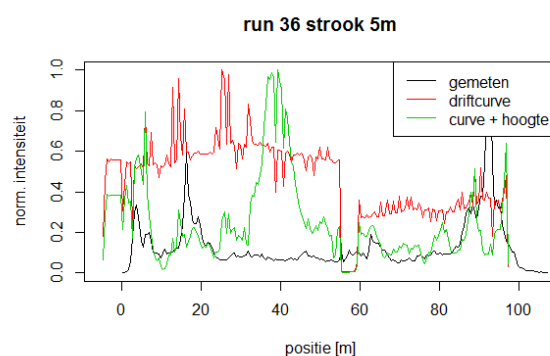
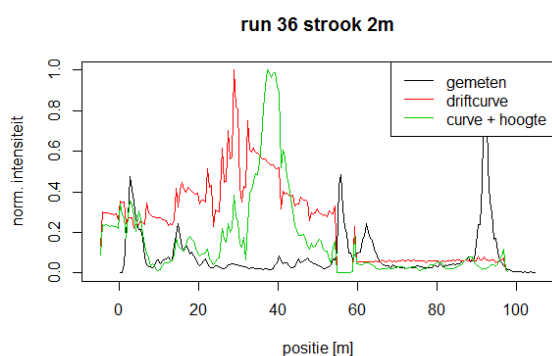
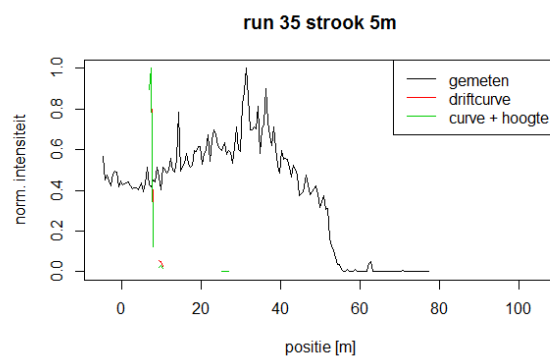
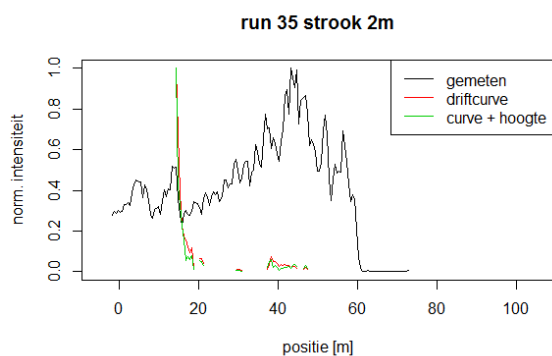
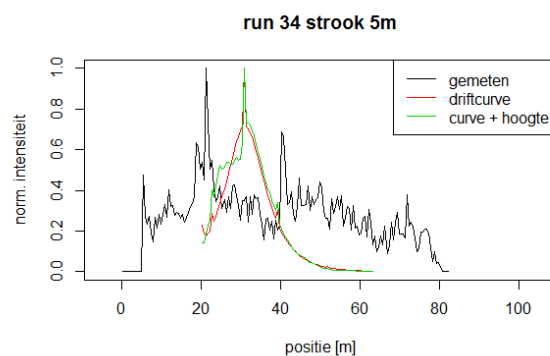
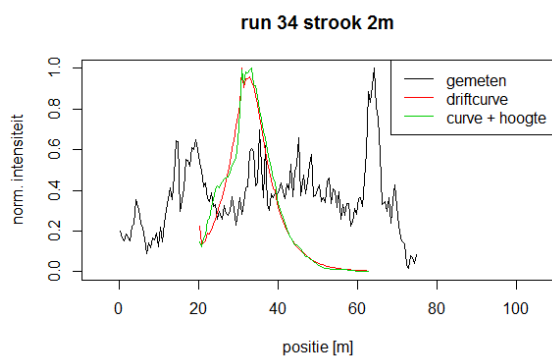
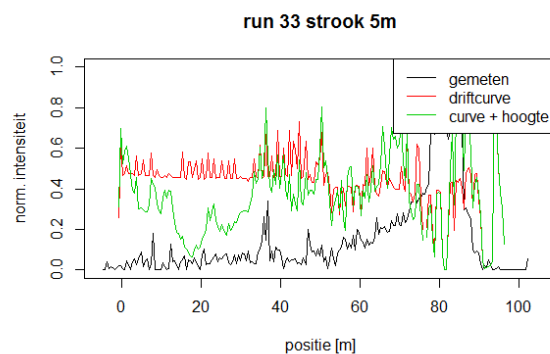
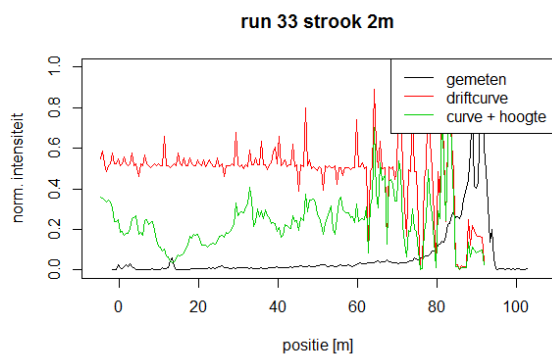


run 31 strook 2m

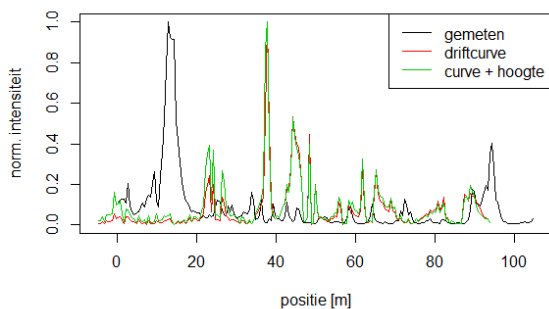


run 31 strook 5m

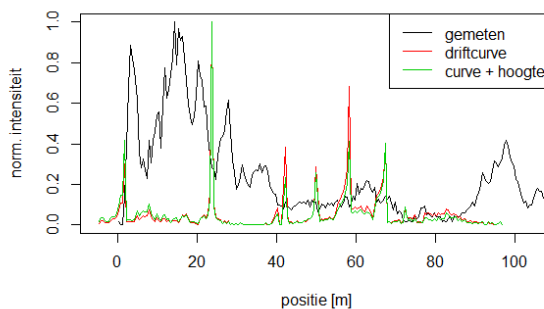




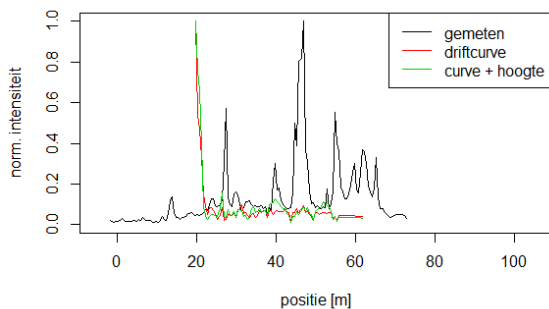
run 37 strook 2m



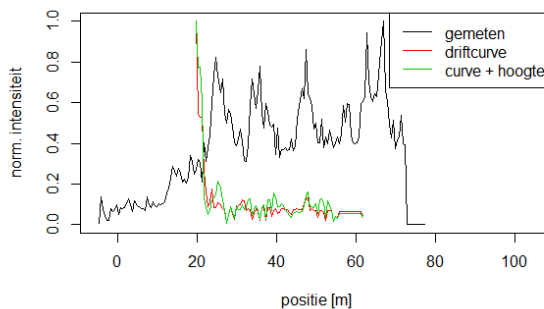
run 37 strook 5m



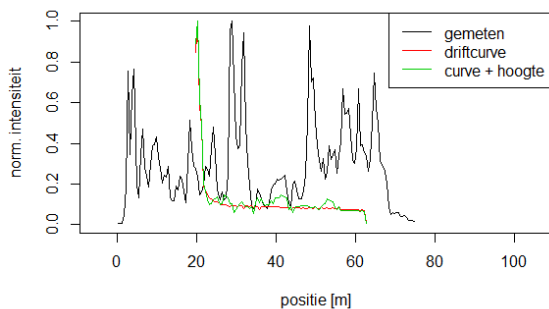
run 38 strook 2m



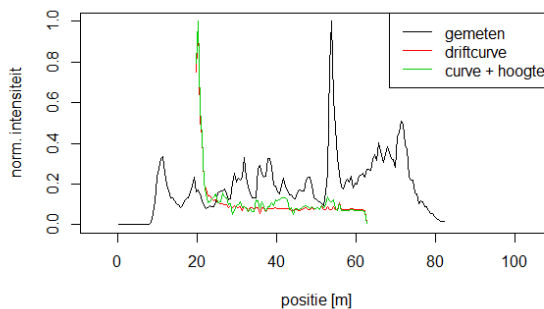
run 38 strook 5m



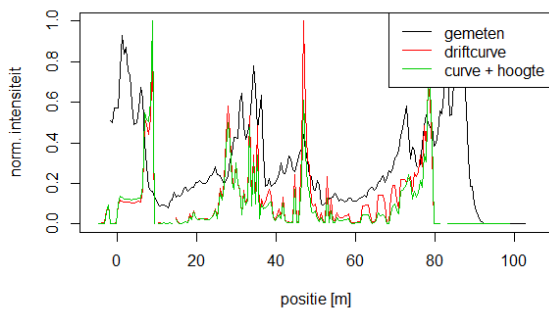
run 39 strook 2m



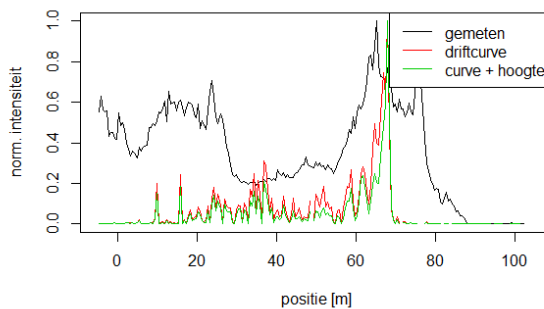
run 39 strook 5m

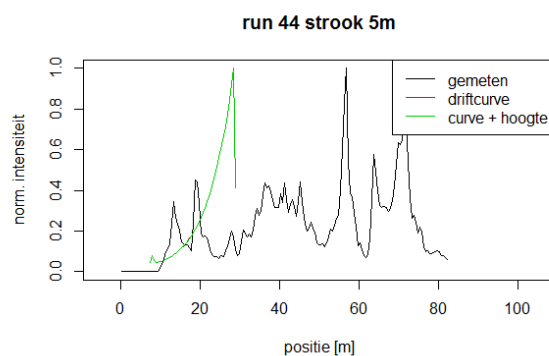
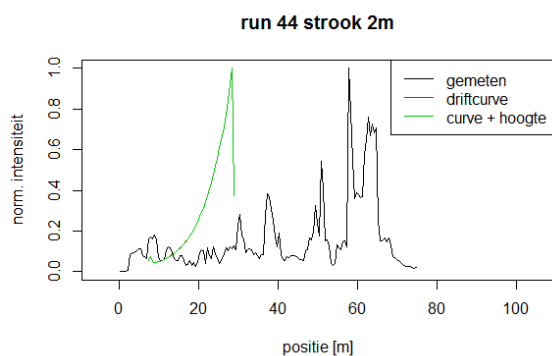
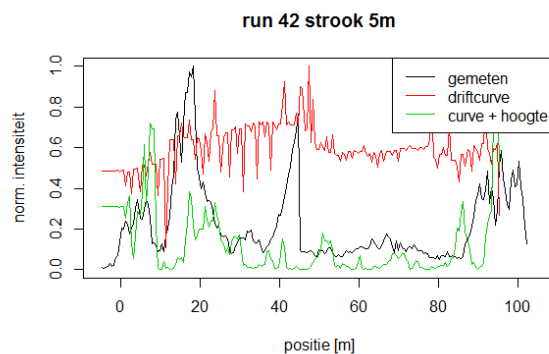
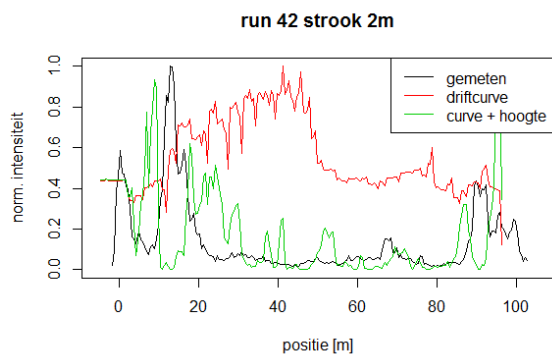
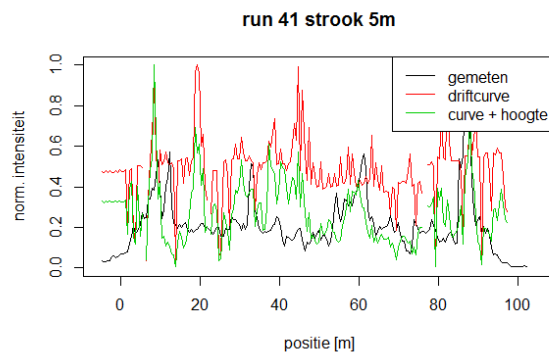
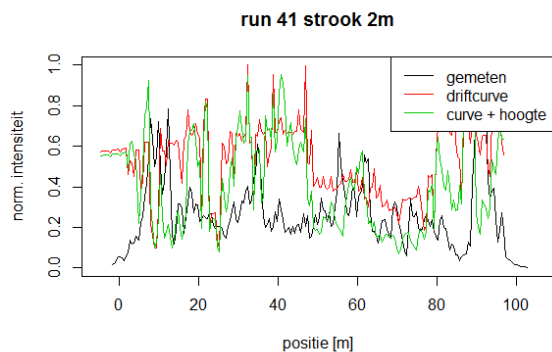


run 40 strook 2m

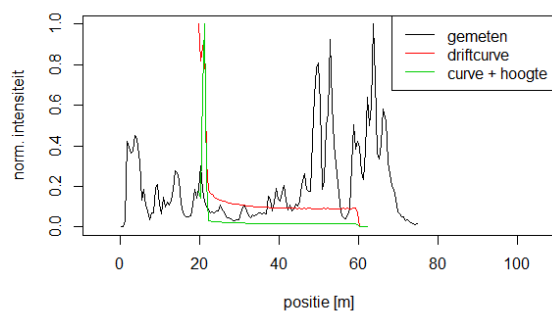


run 40 strook 5m

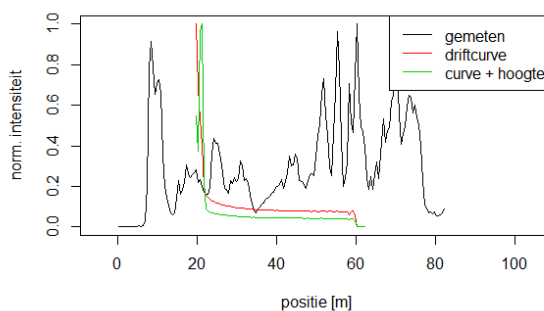




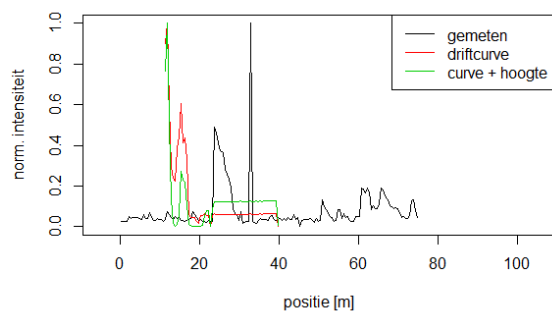
run 45 strook 2m



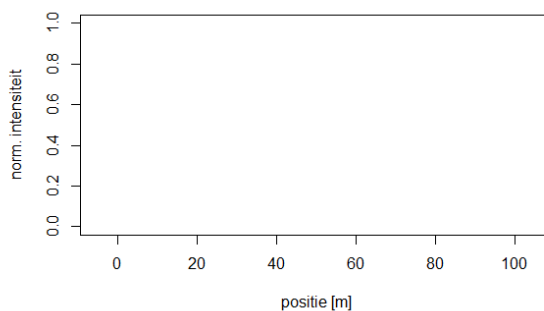
run 45 strook 5m



run 47 strook 2m



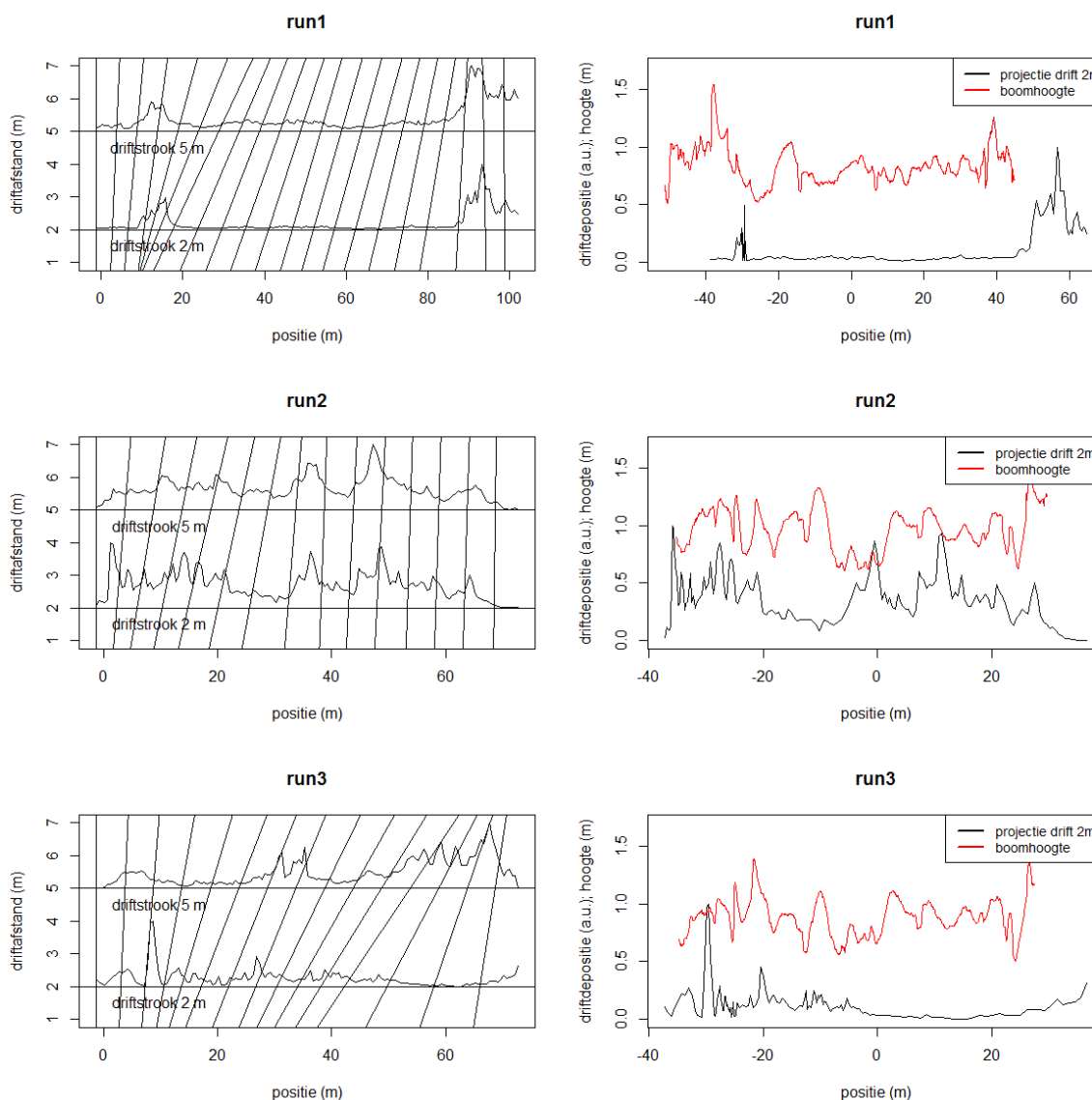
run 47 strook 5m



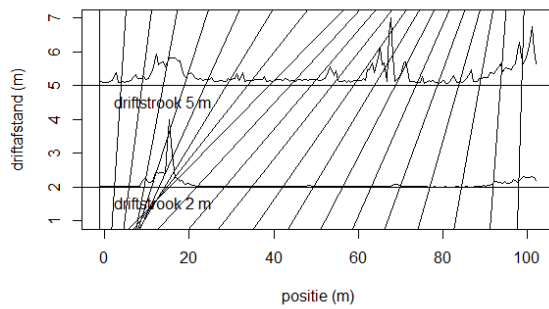
Bijlage II.

Relatie geprojecteerde driftdepositie op 2 m en 5 m afstand en spuitboomhoogte

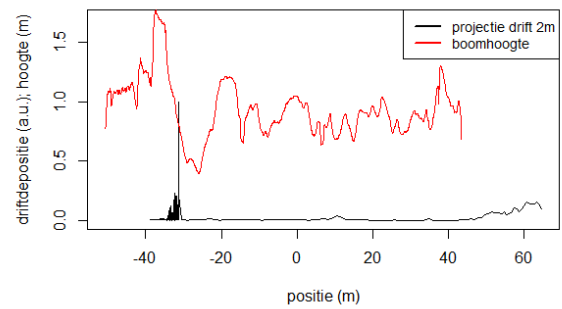
Met behulp van een terugprojectie methode is het driftpatroon van iedere run ontleed en de projectie richting geplot (figuren links). De verticale lijnen in de linker figuren geven de richting van de oorsprong van de drift aan. De spuitboomhoogte en het resultaat van de projectie van 2 m driftstrook zijn geplot in de figuren rechts. Met regressie methoden is het depositie patronen met dat van de spuitboomhoogte vergeleken.



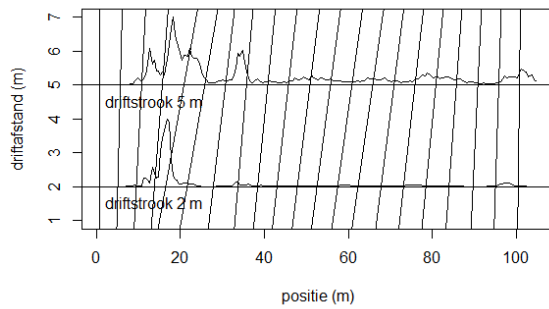
run5



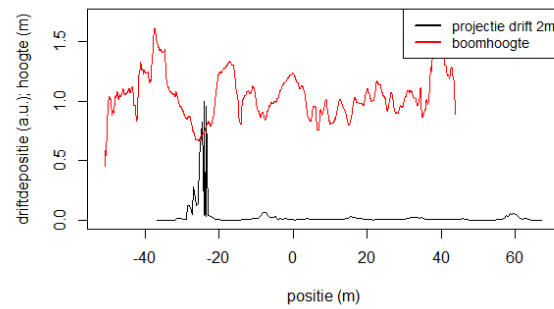
run5



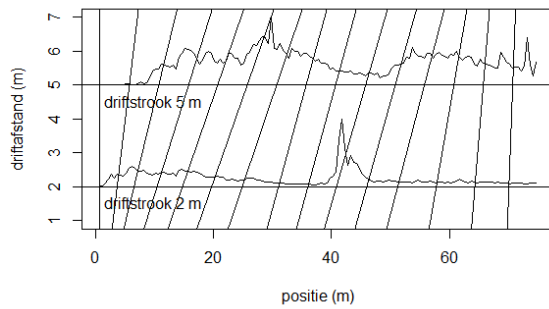
run12



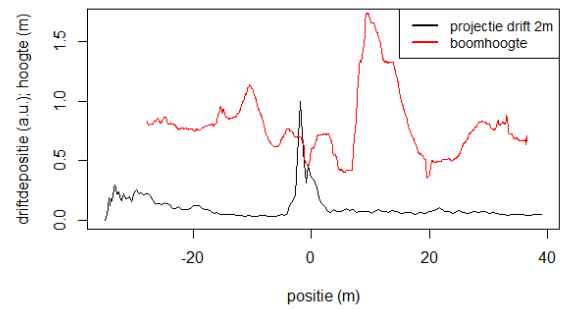
run12



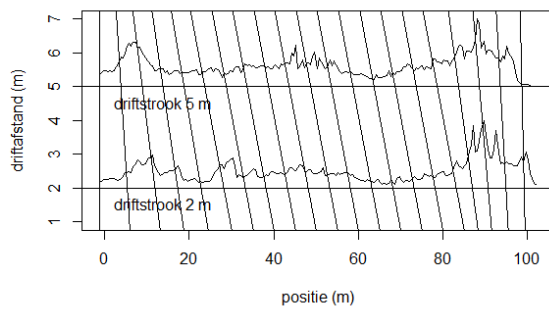
run13



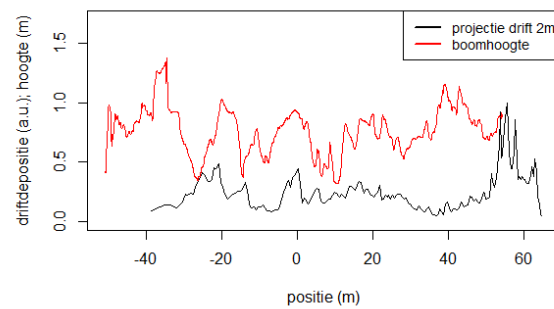
run13



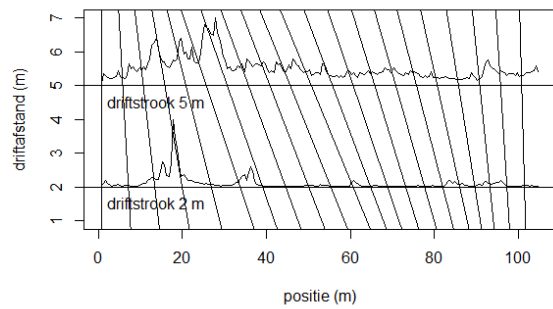
run14



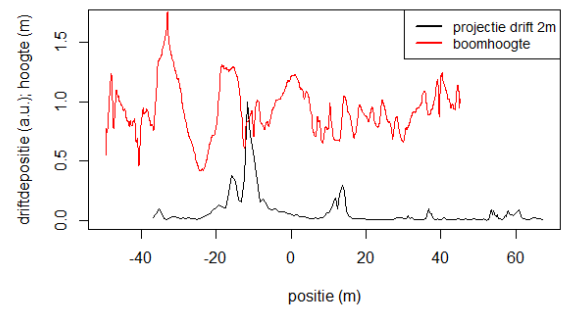
run14



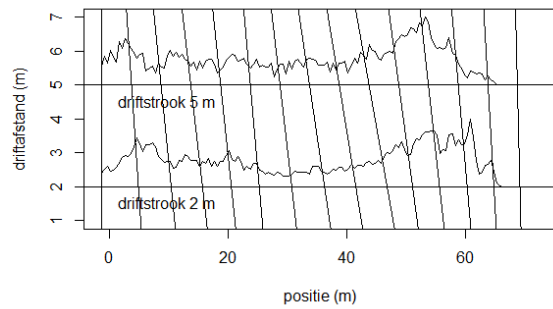
run17



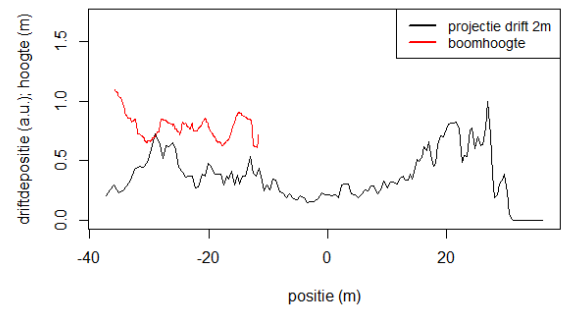
run17



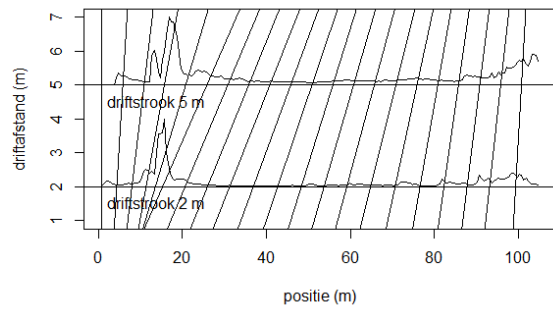
run18



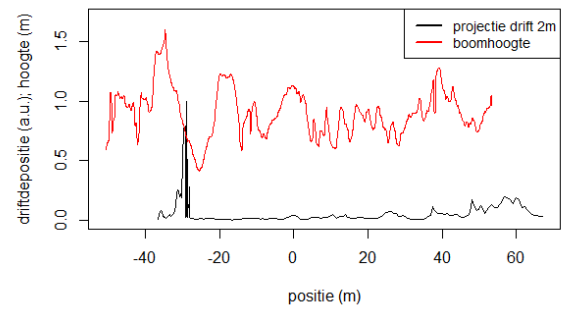
run18



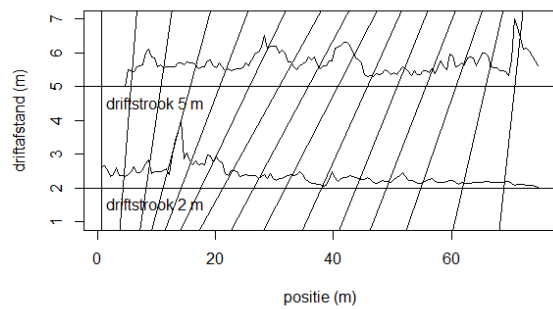
run19



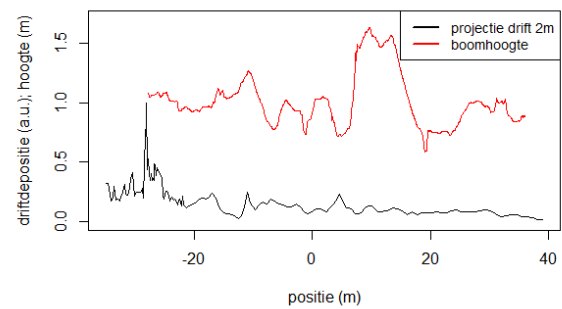
run19



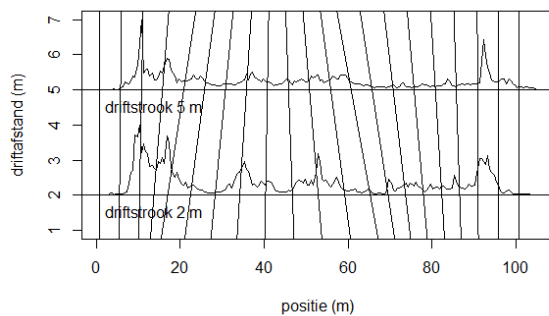
run21



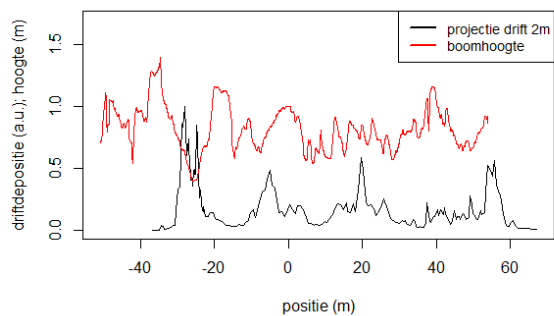
run21



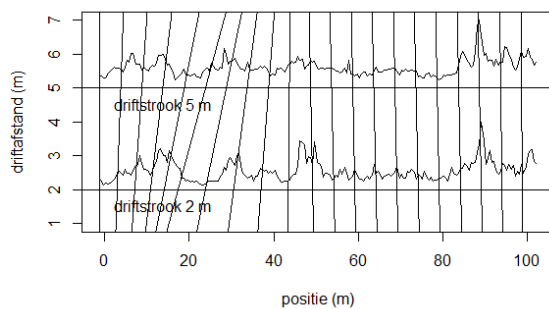
run22



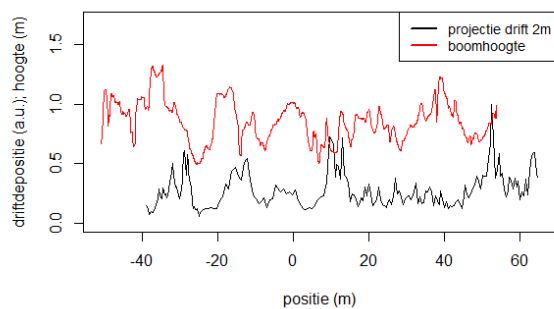
run22



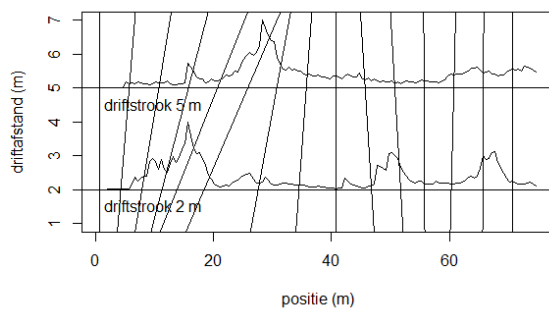
run23



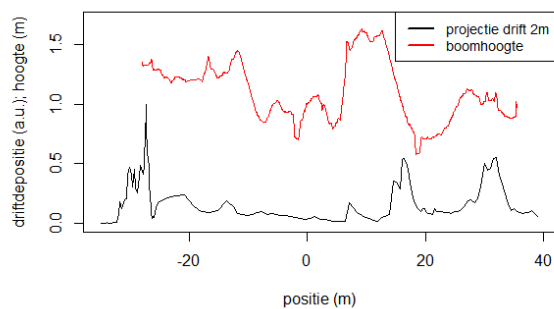
run23



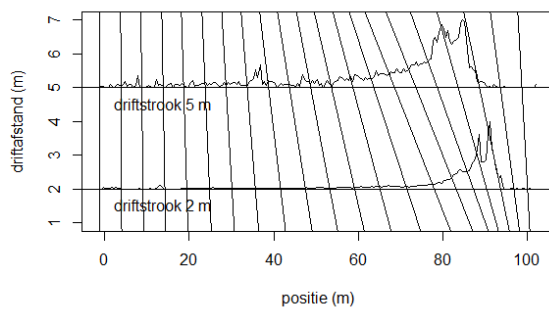
run24



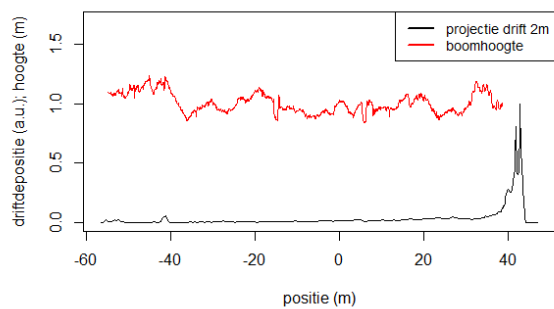
run24



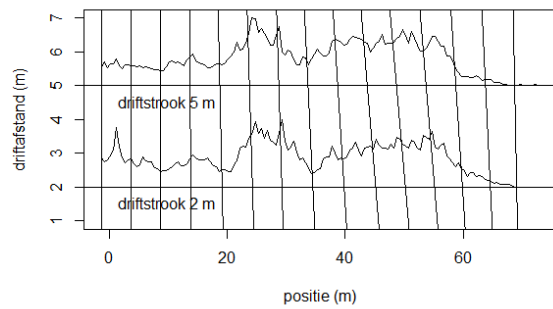
run25



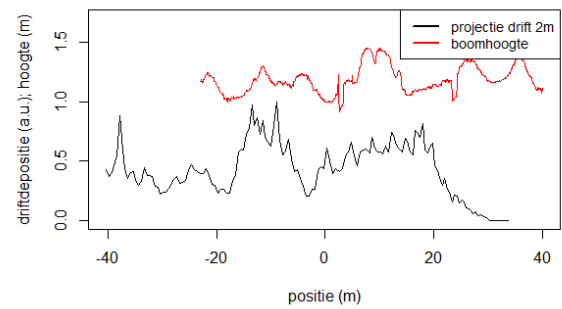
run25



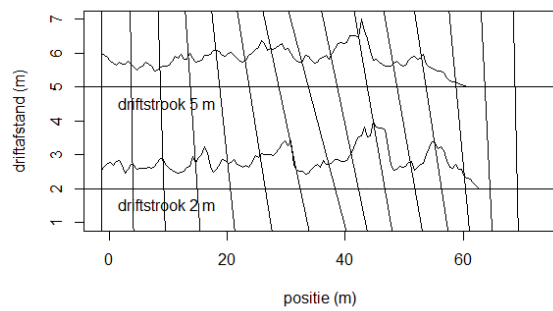
run26



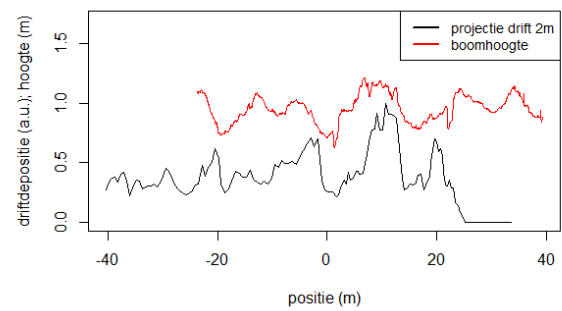
run26



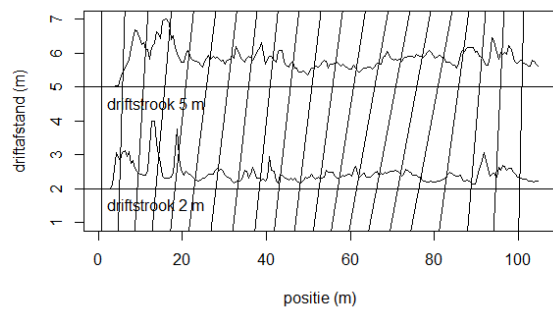
run27



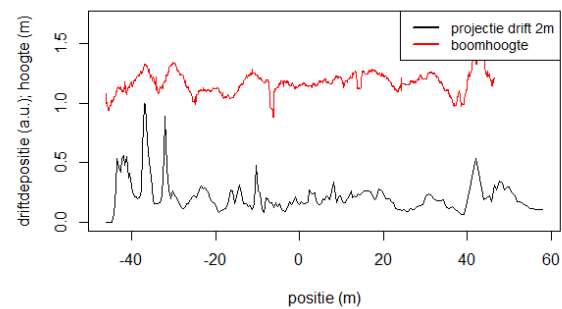
run27



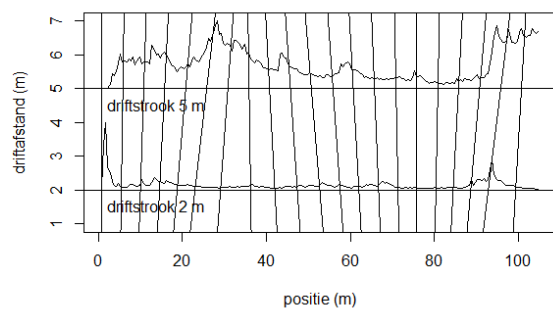
run28



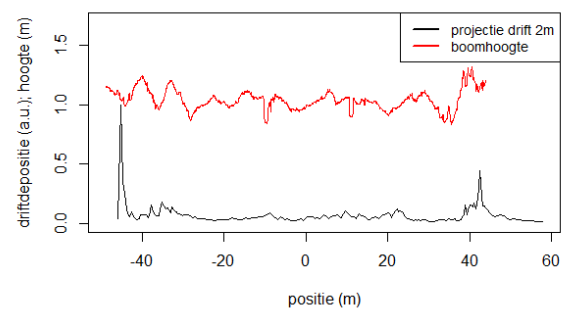
run28



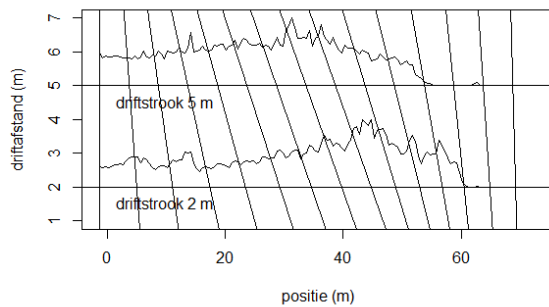
run29



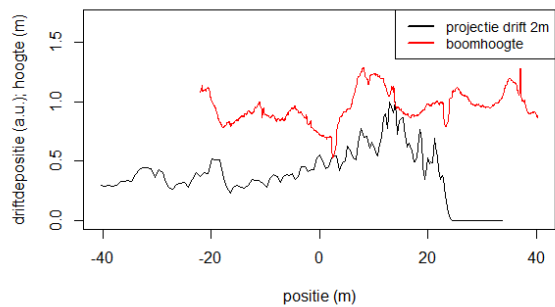
run29



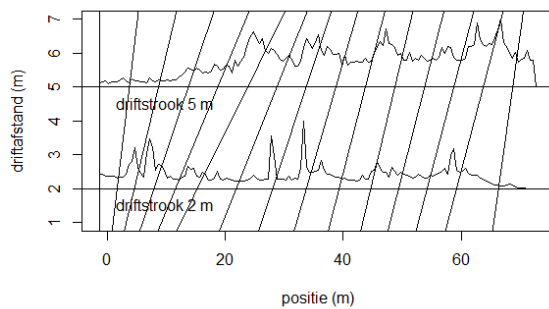
run30



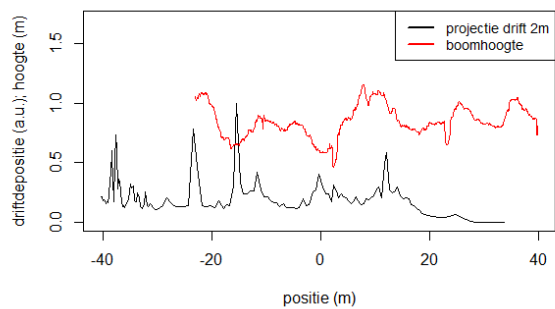
run30



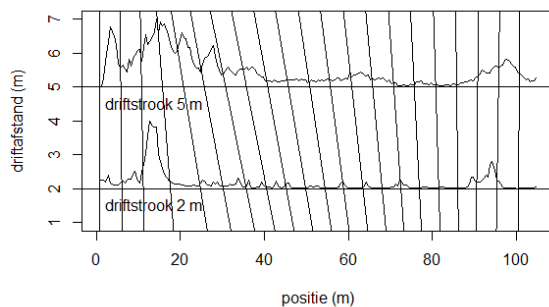
run31



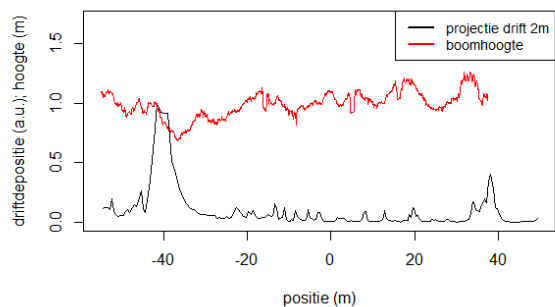
run31



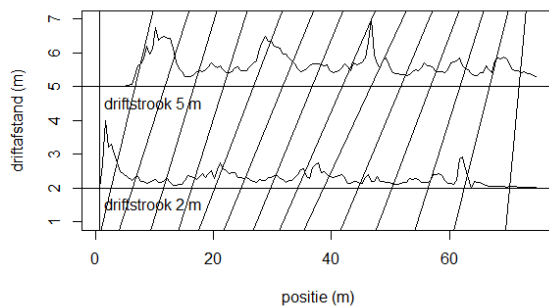
run33



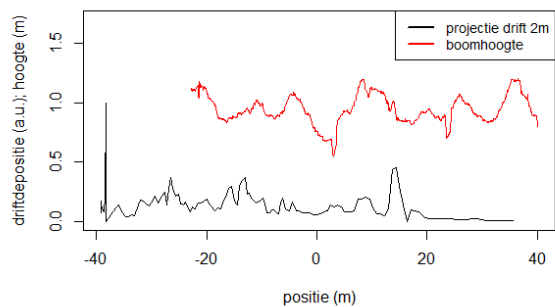
run33



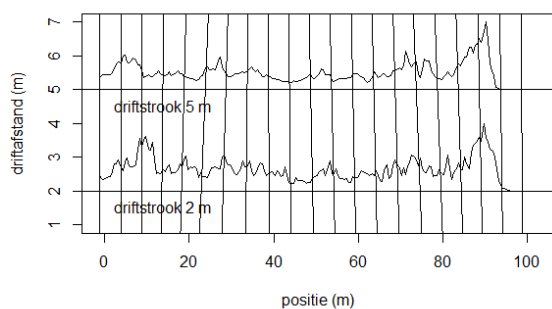
run35



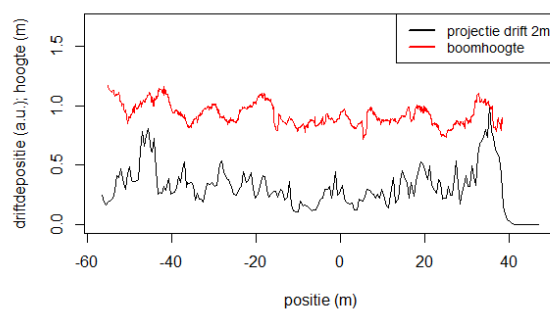
run35



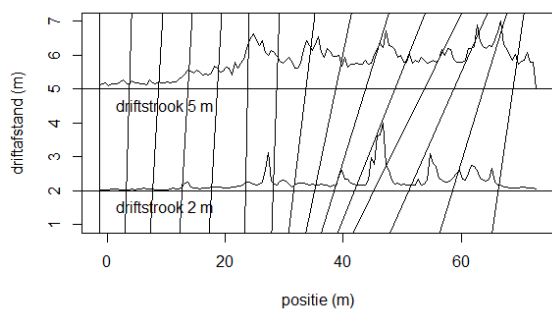
run37



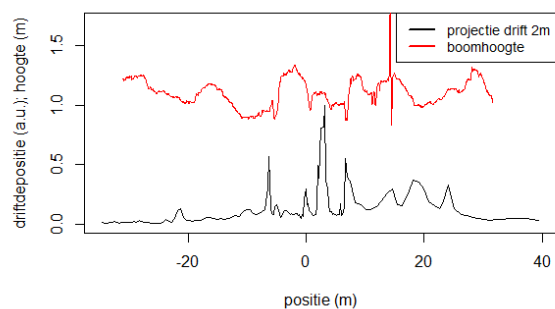
run37



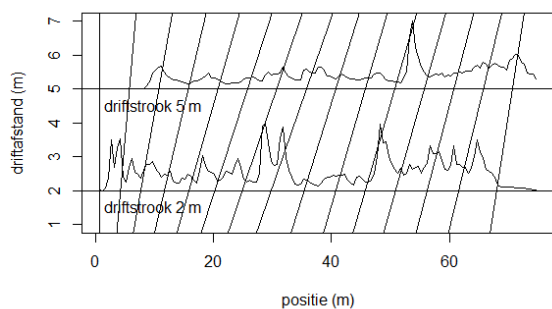
run38



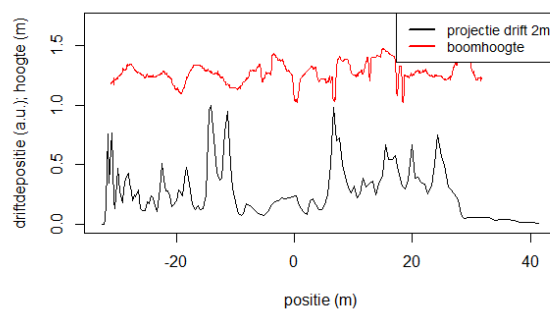
run38



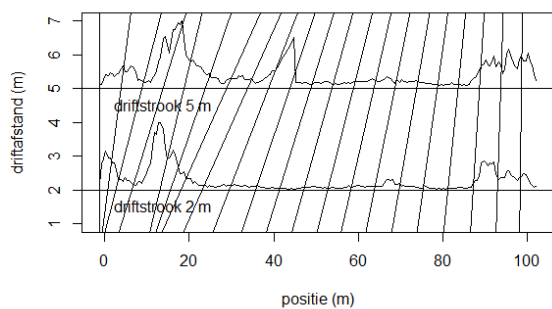
run39



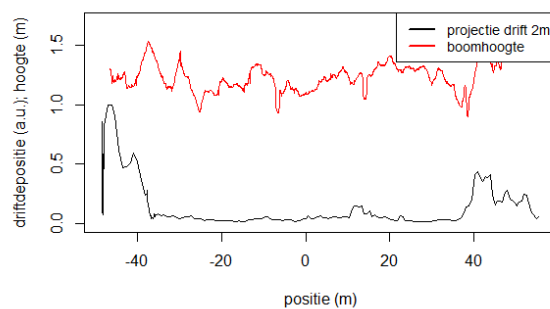
run39



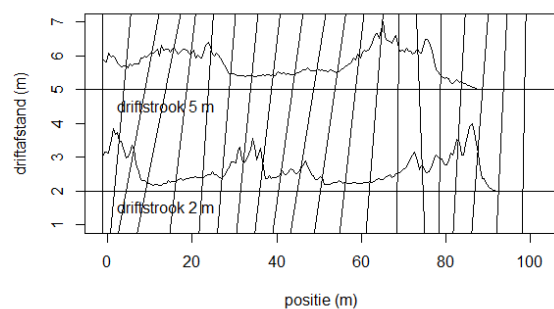
run40



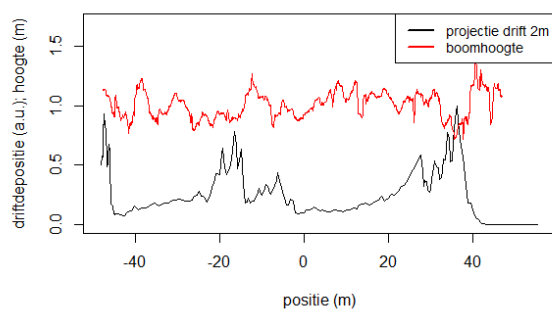
run40



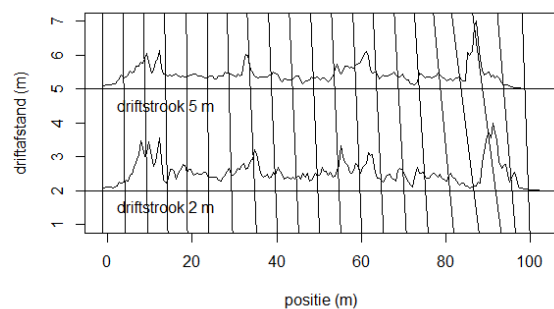
run41



run41



run42



run42

