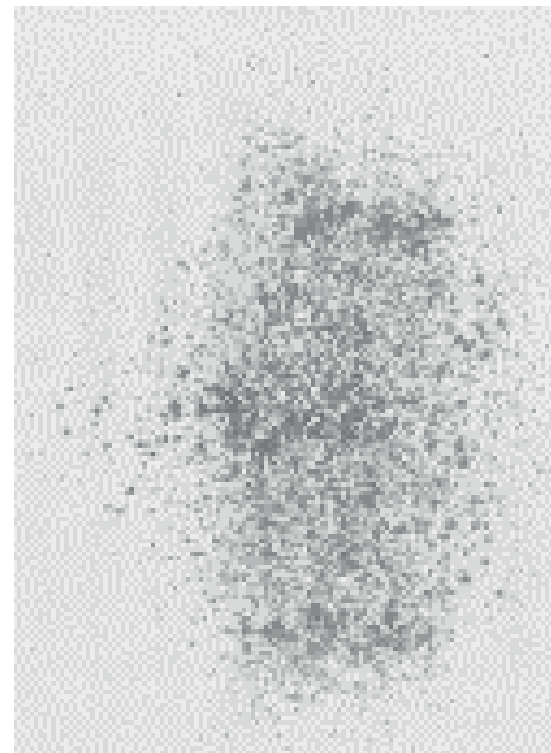
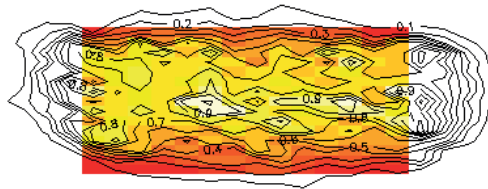
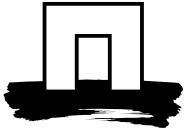




Analyse van de Spotspray van een PWM-spuitdop

T.T. Groot, P. van Velde, H. Stallinga, A. Nieuwenhuizen, H.J. Holterman & J.C. van de Zande





Analyse van de Spotspray van een PWM-spuitdop

T.T. Groot, P. van Velde, H. Stallinga, A. Nieuwenhuizen, H.J. Holterman &
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.

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
Voorwoord	1
1. Inleiding	3
2. Materiaal en methode	5
2.1 Spuitbaan metingen	5
2.1.1 Spotspray met Nigrosine	6
2.1.2 Spotspray met BSF	6
2.2 Spot spray meting met de PDPA	7
2.2.1 Druppel grootte metingen	8
2.3 Verwerking gegevens	9
3. Resultaten	11
4. Discussie	15
4.1 Spuitvloeistof depositie en druppelgrootte	15
4.2 PWM druppelgrootte en driftgevoeligheid	15
5. Conclusies	17
Samenvatting	19
Literatuur	21
Bijlage I.	11 pp.
Bijlage II.	17 pp.
Bijlage III.	11 pp.

Voorwoord

Het in deze rapportage beschreven onderzoek is uitgevoerd in het kader van het subsidie programma van de Achterhoeks Centrum voor Technologie, het Interreg project Gezonde Kas in samenwerking met en in opdracht van Rometron (Steenderen). De druppelgrootte en spuitvloeistofdepositie metingen met de PWM spuitdop zijn uitgevoerd in de spuihal van Plant Research International (WUR-PRI) te Wageningen. Het onderzoek is begeleid door Dhr.Ir. R. de Jonge (Rometron).

Wageningen, november 2014.

1. Inleiding

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

In dit onderzoek wordt de druppelverdeling van een PWM-gemoduleerde dop (Rometron Weedt, Steenderen), voor een debiet van 20% en 50% van het maximale debiet bij een druk van 2 en 3 bar, onderzocht. De spotsprays zijn bepaald met een bewegende dop bij snelheden van 1 m/s (3.6 km/u), 2 m/s (7.2 km/u) en 4 m/s (14.4 km/u). De spotsprays worden met zwarte kleurstof (Nigrosine) en Brilliant sulfaflavine (BSF) uitgevoerd. Uit de Nigrosine metingen is de bedekkingsgraad per oppervlakte bepaald en uit de BSF-metingen de dosis toegediende spuitvloeistof per eenheid oppervlakte. Verder is de druppelgrootteverdeling van de spuitkegel met een Phase Doppler Particle Analyzer (PDPA) bepaald. BSF is een fluorescerende tracer die ook wordt gebruikt in drift experimenten (Holterman *et al.*, 1997, Zande *et al.*, 2006).

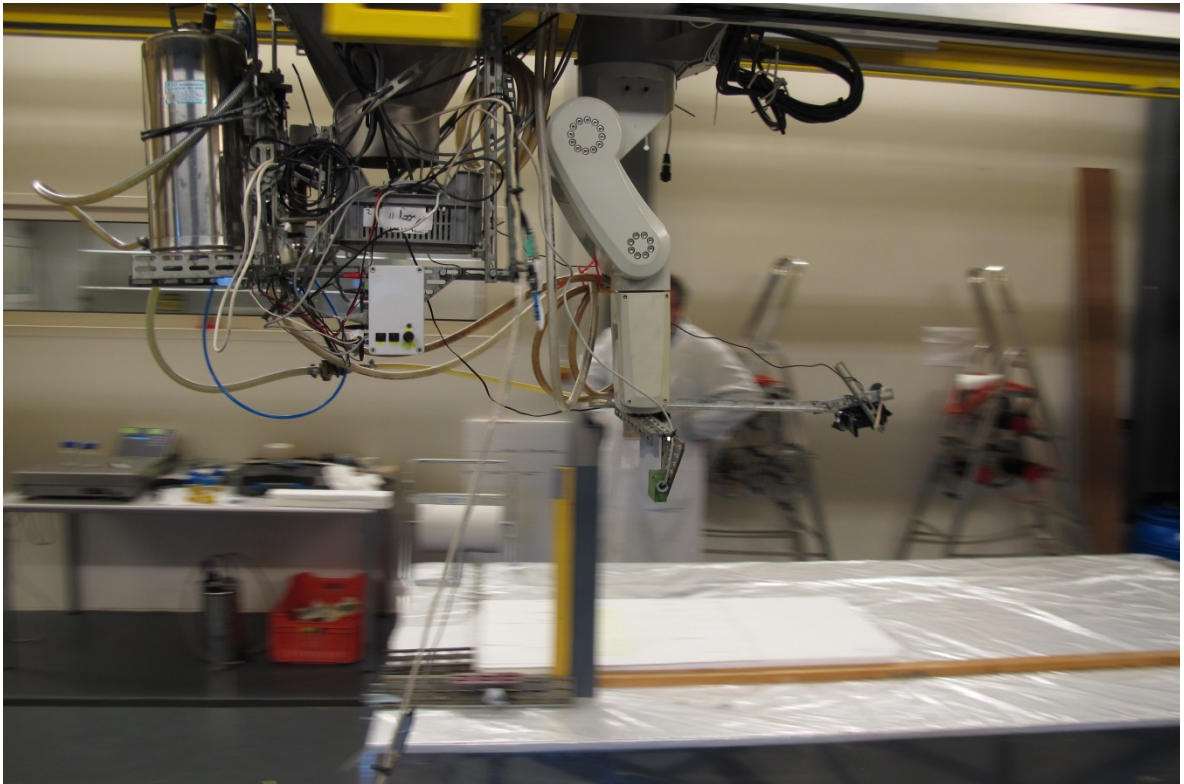
Bij het toedienen van gewasbeschermingsmiddel moet er een keuze gemaakt worden uit een spuit, een dop, een druk en een concentratie aan middel. De teler kiest zelf een verdunning waarbij het middel wordt toegepast, doorgaans de adviesdosering zoals vermeld op het etiket. De fabrikant en wetgever stellen aan de hand van effectiviteit en milieu normen de advies concentratie vast die op een gewas uitgebracht kan worden en stellen grenzen voor het spuit type, druk, dop en weersomstandigheden.

Een bekend middel tegen onkruiden is Roundup (werkzame stof: Glyfosaat). Deze moet toegepast worden in een concentratie van 3-4 l/ha (Ctgb, 2014). Op verhardingen wordt Roundup toegepast tegen eenjarige onkruiden met een concentratie van 2-4 l/ha, tegen overblijvende grassen met 3-4 l/ha en tegen overblijvende brede blad onkruiden met 4-6 l/ha (Kortenhoff *et al.*, 2001). Een fungicide, Rudis (werkzame stof prothioconazole), wordt toegepast bij concentraties van 0,4 l/ha (www.bayercropscience.nl/BAYER/CropScience; Ctgb, 2014). Een concentratie van 1 l/ha actieve stof komt overeen met 0.01 µl/cm², wanneer een verdunning van 1 liter middel op 100 liter water wordt aangehouden moet er 1 µl/cm² spuitvloeistof worden uitgebracht. Omdat de dosis/mengverhouding voor ieder middel anders is wordt in dit rapport de dosis spuitvloeistof gerapporteerd, bepaald uit de BSF metingen.

2. Materiaal en methode

2.1 Smitbaan metingen

In de PWM-gemoduleerde dop is een even spleetdop als uitstroomopening geplaatst (Teejet4003E). De PWM-dop is op de trolley van de spuitbaan bevestigd, waarop ook de tank met spuitvloeistof zit. Tijdens de spuitvloeistof-depositiemeting wordt de trolley op snelheid gebracht waarbij na ongeveer 2 meter over een lengte van minimaal 5 meter een constante snelheid wordt verkregen. Door middel van een lichtsluis krijgt de dop een trigger voor het afgeven van de spotspray. Een target bestaande uit filterpapier of behangpapier vangt de spotspray op voor verdere analyse, de spotspray wordt afgegeven in ongeveer 140 ms. De opstelling is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1. Trolley met een spuitdop, de trigger van de lichtsluis is de verticale lat in het midden van de foto.

Tijdens de metingen heeft het aan de trolley bevestigde spuitsysteem een voorwaartse snelheid van 1, 2 of 4 m/s. De metingen worden bij 2 en 3 bar uitgevoerd bij een afgifte van de PWM-dop van 50% en 20% van het maximale debiet (PWM instellingen volgens Tabel 1) en met een spuitdop hoogte van 50 cm boven het doelloppervlak. De PWM-cyclus duurt 30 ms of 15 ms, de duur van de spotspray is 140 ms en is daarmee 5 of 10 PWM-cycli lang.

Tabel 1. De twee gebruikte debietinstellingen van de PWM. T-step is de tijd waarin een hoog voltage de dop versneld open zet, tijdens T-on staat de dop open en tijdens T-off dicht.

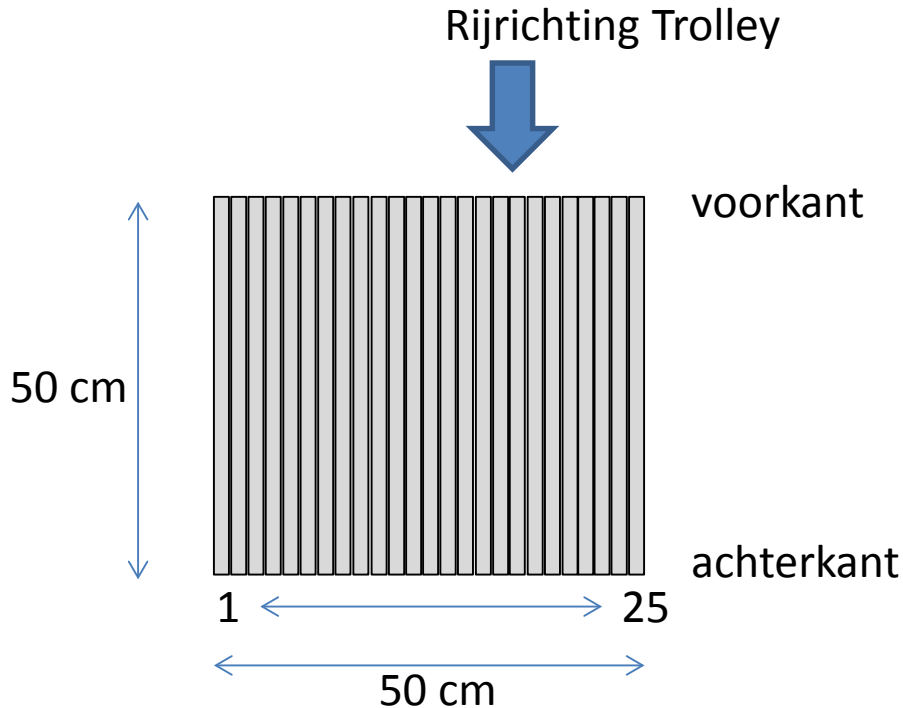
	Druk 2 bar	Druk 3 bar	Cyduustijd	T-step	T-on	T-Off
Naam	flow (l/min)	flow (l/min)	PWM (ms)	step (ms)	hold (ms)	off (ms)
20%	0.20	0.26	30	3.9	0.1	26.0
50%	0.49	0.57	15	3.0	3.0	9.0

2.1.1 Spotspray met Nigrosine

Het vlekkenpatroon van de tot depositie gekomen druppels is bepaald bij een spuitdruk van 2 en 3 bar, bij 20% of 50% debiet en bij een snelheid van 1, 2 of 4 m/s. De spotsprays zijn op behangpapier gemaakt, elke meting is in drie herhalingen uitgevoerd. Er is een concentratie van eerst 2 en later 3,6 gr/l Nigrosine gebruikt (er is bij deze metingen geen Agral toegevoegd). De spotsprays zijn gescand en in tiff-formaat opgeslagen (300 tot 600 dpi), omdat het oppervlak van de scanner kleiner is dan de spotsprays is elke spotspray (met overlap) in meerdere scans opgeslagen. Met programmatuur (Hugin) zijn de deelscans samengesteld tot één spotspray. Met een beeldverwerkingsprogramma (geschreven door Ard Nieuwenhuizen) is per pixel bepaald of de pixel wel/niet met spuitvloeistof bedekt is. Het bedekt oppervlak is het aantal met spuitvloeistof bedekte pixels gedeeld door het totaal aan pixels.

2.1.2 Spotspray met BSF

De dosering van de spuitvloeistofdepositie wordt bepaald met een bespuiting van een bekende (2,1 of 5,3 gr/l) BSF concentratie op stroken filterpapier. Het filterpapier (Whatman no.2) is 2 cm breed en wordt in stroken in de rijrichting op het targetvlak aangebracht (Figuur 2). Per meting wordt er één spotpray gespoten op het target van filterpapier. De metingen zijn weer met een spuitdruk van 2 en 3 bar, bij 20% of 50% van het maximale debiet en bij een snelheid van 1, 2 en 4 m/s gedaan.



Figuur 2. Schematische tekening van target van stroken filterpapier (2 cm breed) in het target. De lengte van de stroken varieerde van 50 tot 120 cm.

Na de bespuiting worden de stroken filterpapier in stukken van 2 cm geknipt en geanalyseerd op BSF concentratie met een fluorimeter. De ruimtelijke resolutie van het gemeten verdelingspatroon is daardoor 2x2 cm. De detectielimiet voor BSF op filterpapiertjes met een oppervlak van 4 cm² is 0.001 µl/cm². De dosering van de spuitvloeistofdepositie uit de BSF-meting is de hoeveelheid toegediende spuitvloeistof, de concentratie toegediend middel is uit de concentratie in de tank te berekenen.

2.2 Spot spray meting met de PDPA

De metingen van druppelgroottes en druppelsnelheden in de spuitkegel van de PWM-dop werden uitgevoerd met een Phase Doppler Particle Analyzer (PDPA, TSI). De PDPA is een techniek waarbij twee coherente laserstralen (Argon-ionenlaser) elkaar onder een kleine hoek kruisen, in het kruispunt interfereren de stralen met elkaar en vormen een zeer klein meetvolume (~ 1.5 mm³). De PDPA doet daarmee een puntmeting in de spuitkegel van de spuitdop. De PDPA was tijdens de metingen als volgt ingesteld:

- Laservermogen 700 mW
- Focus frontlens transmitter 1000 mm
- Focus frontlens detector 1000 mm
- Expander/contractor contractor
- Detectiehoek 40°
- Detectorspanning 450 V
- Signaaldrempel 75 mV
- Meetbereik 13 - 1250 µm
- Diameter resolutie 2,0 µm
- Probe Volume Correction ja

De Probe Volume Correction (PVC) wordt toegepast omdat de kans dat een kleine druppel in het meetvolume wordt waargenomen kleiner is dan van een grote druppel. Met de PVC wordt het spectrum gecorrigeerd voor dit verschil, alleen de getallen van D_{V10} , D_{V50} , D_{V90} , V_{100} en v_{gem} zijn gecorrigeerd met de PVC.

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

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

Tijdens de druppelgroottemetingen was de temperatuur in de meetruimte was 20°C en de relatieve luchtvochtigheid 70%, en was de temperatuur van de spuitvloeistof (leidingwater) 20°C.

2.2.1 Druppel grootte metingen

Met een Phase Doppler Particle Analyzer (PDPA) is de druppelgrootte- en snelheid-verdeling op 23 verschillende posities onder de dop in de spuitkegel gemeten (Figuur 3). PDPA-metingen kunnen niet aan individuele spotsprays gedaan worden omdat het meetvolume van de PDPA erg klein is ($\sim 1,5 \text{ mm}^3$) en er veel druppels gemeten moeten worden om een betrouwbare druppelverdeling te kunnen bepalen. Daarom zijn de druppels van honderden spotsprays geaccumuleerd.

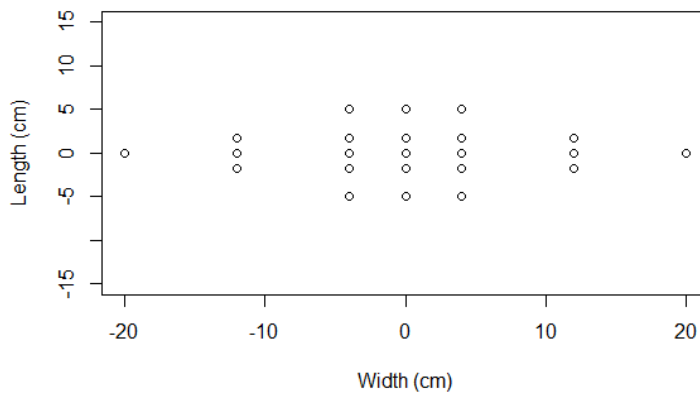
Op het raster van meetposities (Figuur 3), 50 cm onder de PWM gemoduleerde Teejet4003E dop, is de druppelsnelheid en druppeldiameter bepaald. De aankomsttijd van de druppels is uitgedrukt in de spotspray cyclustijd. Tijdens de metingen werd de dop niet bewogen.

De experimenten zijn weer uitgevoerd bij een debiet van 20% of 50% van het maximale debiet en bij 2 of 3 bar spuitdruk (Tabel 2). In de 'Klep dicht' kolom staat de tijd waarmee de spotsprays van elkaar gescheiden zijn. Wanneer deze tijd te kort genomen wordt zullen trage druppels van de vorige spotspray in de nieuwe spotspray gemeten worden, bij een lange tijd worden er weinig druppels gemeten. In de metingen leek een tijd van 900 ms optimaal maar later bleek dat een iets langere tijd beter geweest zou zijn omdat er nog vrij veel trage druppels van de vorige cyclus werden gemeten.

Tabel 2. *Overzicht van gegevens bij de experimenten.*

Experiment	Debiet keuze (%)	Debiet (l/min)	PWM cyclus (msec)	Druk (bar)	Klep open (msec)	Klep dicht (msec)	Spotspray tijd (sec)	Runs	Meetijd (min)
1	20%	0.08	30	3	100/150	1000/600	1.15/0.750	3-25	10/5
2	20%	0.08	30	2	150	900	1.05	26-48	5/3
3	50%	0.20	15	2	150	900	1.05	49-71	3
4	50%	0.20	15	3	150	900	1.05	72-94	3

In Figuur 3 is een bovenaanzicht van de locaties weergegeven waarop de PDPA metingen zijn uitgevoerd, de locaties zijn zo veel mogelijk over de kegel verspreid. De randen van de kegel zijn bepaald uit de frequentie waarmee de PDPA druppels registreert. Op elke locatie is tenminste 3 minuten lang gemeten, soms 5 of 10 minuten (Tabel 2).



Figuur 3. Het bovenaanzicht van de 23 posities waarop PDPA metingen zijn uitgevoerd in de spuitkegel van de PWM-spuitdop.

2.3 Verwerking gegevens

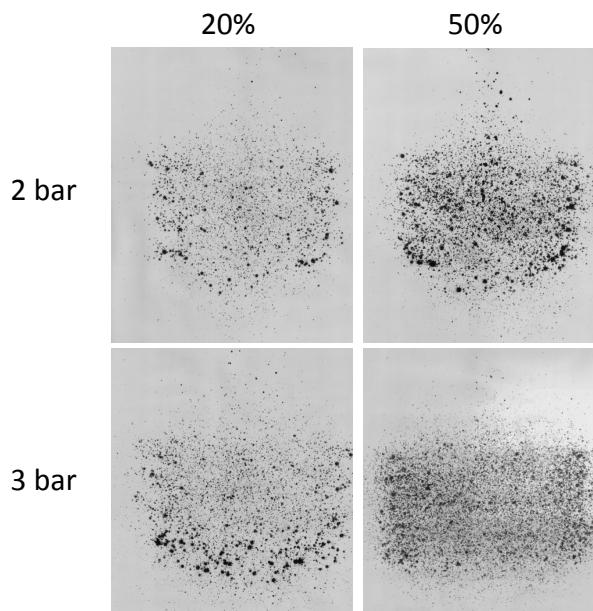
De Nigrosine metingen geven een indicatie van de bedekkingsgraad van een bespuiting, met de BSF tracer wordt een dosering bepaald en met de PDPA metingen de druppelgrootteverdeling. De PDPA metingen zijn niet met een bewegende dop gemaakt waardoor de druppelverdeling per positie niet noodzakelijk representatief is voor die zelfde locatie in de Nigrosine of BSF spotsprays (de massastraagheid maakt een nieuwe verdeling). Maar het gemiddelde van de hele kegel kan wel gebruikt worden. In Kortenhoff *et al.* (2001) is omschreven dat de Roundup dosering voor een goede effectiviteit tegen verschillende soorten planten tussen 2 en 6 l/ha moet zijn, dat is tussen 0.02 en 0.06 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$. Als een verdunning van 1 l middel op 100 l spuitvloeistof wordt gebruikt komt deze dosering overeen met 2 tot 6 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ spuitvloeistof. Uit de BSF metingen volgt de hoeveelheid toegediende spuitvloeistof. Daarnaast is een gelijkmatige bedekking ook van belang die met de Nigrosine metingen is gekwantificeerd maar daarvoor zijn geen duidelijke kentallen. De druppels groter dan 350 μm zijn gevoelig voor rolloff, deze informatie is uit de PDPA metingen te halen.

Alle metingen zijn met de zelfde resolutie van $2 \times 2 \text{ cm}^2$ geanalyseerd. In dit rapport wordt de spotspray, de vorm en de verdeling van gebieden in de spotspray met een te lage dosering zichtbaar gemaakt. De gekozen criteria om een locatie af te keuren zijn:

- < 0.05 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ spuitvloeistof
- bedekking < 10%
- veel druppels > 350 μm

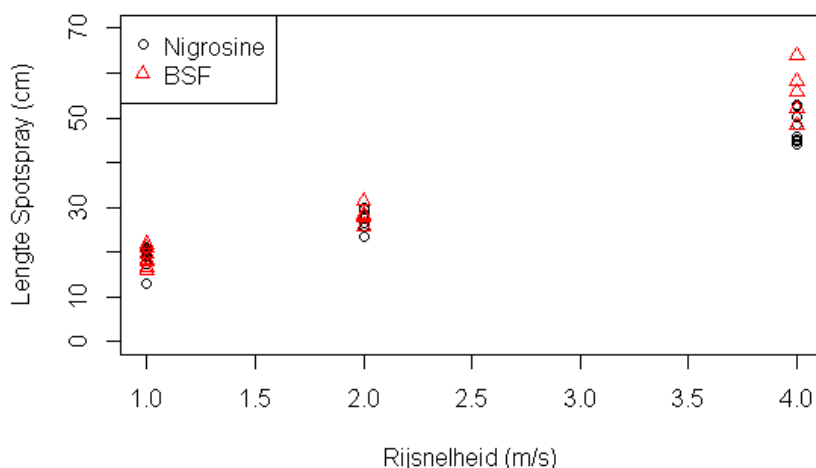
3. Resultaten

Een overzicht van de vorm van het depositiepatroon van de spotsprays gemaakt bij 2 m/s rijsnelheid zijn gegeven in Figuur 4. De rijrichting bij het maken van de spotsprays is van onder naar boven geweest. De spotsprays vertonen een lichte V-vorm veroorzaakt door de beweging van de dop doordat de druppels aan de uiteinden van de spotspray meer wrijving ondervinden in hun voorwaartse beweging dan in het centrum. Daarnaast zijn er in de spotspray rechts boven en links onder vrij veel grote druppels, in de spotspray linksonder komen die voornamelijk in de voorkant van de spray voor. In de spotspray rechtsonder zijn deze meer verdeeld over het oppervlak. In de spotspray linksboven komen de grote druppels meest in de randen van de spray voor. De verdeling in de spot spray rechtsonder is veel egalier (zie ook Bijlage III).



Figuur 4. Vier voorbeelden van spotsprays met Nigrosine bij 2 en 3 bar en een debiet van 20 en 50% van de maximale afgifte (TeeJet 4003E), alle sprays zijn bij een snelheid van 2 m/s gemaakt.

De grenzen van de spotsprays zijn bepaald uit de stroken in het centrum van de spotspray, van deze strook is de cumulatieve verdeling berekend en het 5% en 95% punt bepaald. Het gemiddelde van deze posities van naast elkaar liggende stroken zijn als grenzen van de spotspray gekozen. In Figuur 5 zijn de op deze manier bepaalde grenzen voor de gemeten Nigrosine en BSF spotsprays weergegeven. De spotspray lengten van de Nigrosine en de BSF komen goed met elkaar overeen. Voor beiden geldt ook dat ze minder dan evenredig schalen met de snelheid. De beweging lijkt de spotspray lengte met 20% te reduceren.



Figuur 5. Lengte van de Nigrosine en BSF spotsprays in de rijrichting. De grenzen van de spotspray zijn bepaald uit 5 tot 95% van de bedekking (Nigrosine spotsprays) of de dosering (BSF spotsprays) op de stroken in het centrum van de spotspray.

In Tabel 3 zijn de gemiddelde Dv_{10} , Dv_{50} , Dv_{90} , druppelsnelheid en V_{100} gegeven. Uit de Dv_{10} , de Dv_{50} en de V_{100} blijkt dat druppelverdeling bij 2 bar grover is dan bij 3 bar.

Tabel 3. De gemiddelde druppelgrootte verdeling per spotspray instelling (TeeJet 4003E; 2 en 3 bar spuitdruk; 20% en 50% debiet) bepaald uit de 23 PDPA metingen.

Debiet (%)	Druk (bar)	Dv_{10} (μm)	Dv_{50} (μm)	Dv_{90} (μm)	Snelheid (m/s)	V_{100} (%)
20%	2	205	392	670	2.66	1.47
20%	3	163	343	626	2.64	3.59
50%	3	169	338	579	3.80	2.63
50%	2	208	384	624	3.57	1.30

In Bijlage I zijn de spotsprays gemaakt met BSF gegeven met daarin de velden met een dosering $< 0.05 \mu\text{l}/\text{cm}^2$. In Bijlage II zijn de Nigrosine spotsprays gegeven met daarin de velden met een bedekking $< 10\%$. Een samenvatting van deze gegevens is gegeven in Tabel 4. Onderdosering is duidelijk een kleiner probleem bij een debiet van 50% dan voor een debiet van 20%. Velden met een te lage bedekking komen duidelijk meer voor bij een snelheid van 4 m/s dan bij de lagere snelheden maar ook hier is dat effect vooral groot voor de metingen bij een debiet van 20%. Het effect van druk uit zich in de druppelverdeling, de metingen bij 3 bar hebben een grotere V_{100} (Tabel 3) en minder druppels $> 350 \mu\text{m}$ (Tabel 4) dan de metingen bij 2 bar.

Tabel 4. Resultaat van de analyse van de spotsprays. In de kolom Dosering is het percentage velden gegeven met een dosering $< 0.05 \mu\text{l}/\text{cm}^2$. In de kolom Bedekking is het percentage velden gegeven die een $< 10\%$ bedekking hebben. In de kolom Druppels is het percentage druppels $> 350 \mu\text{m}$ gegeven. De metingen zijn met stationaire doppen gemaakt waardoor er geen snelheidsafhankelijkheid is gemeten.

Snelheid	Druk	Debiet	Aantal velden	Dosering $< 0.05 \mu\text{l}/\text{cm}^2$	Bedekking $< 10\%$	Druppels $> 350 \mu\text{m}$
(m/s)	(bar)	(%)		(%)	(%)	(%)
1	2	20	154	16	41	65
2	2	20	201	9	60	"
4	2	20	331	14	98	"
1	3	20	126	12	20	57
2	3	20	191	12	32	"
4	3	20	322	2	95	"
1	3	50	117	0	8	52
2	3	50	173	0	3	"
4	3	50	341	0	5	"
1	2	50	140	3	4	63
2	2	50	201	0	10	"
4	2	50	378	0	36	"

4. Discussie

4.1 Spuitvloeistof depositie en druppelgrootte

De druppelverdeling van de PWM spotspray met TeeJet 4003E dop is fijner bij een druk van 3 bar dan bij 2 bar en omdat de V_{100} hoger is zal daarmee ook de drift hoger worden (Tabel 3 en Tabel 4). Uit Tabel 4 blijkt echter dat de druppelverdeling bij 3 bar veel minder velden met een bedekking onder de 10% geeft dan de spotsprays gemaakt bij 2 bar. De spotsprays met veel onderdosering ontstaan bij het 20% debiet, er is dan een sterke correlatie met de rijsnelheid. Een druk van 3 bar en een debiet van 50% geeft de beste bedekking en weinig onderdosering (Tabel 4). Op basis van de V_{100} zal juist de drift bij een druk van 2 bar en een debiet van 50% minimaal zijn maar de drift kan in deze metingen niet verder gekwantificeerd worden.

Metingen met Nigrosine geven een goed globaal beeld van de bespuiting maar hieruit resulteert een waarde voor de bedekkingsgraad. Deze is minder geschikt om de kwaliteit van een bespuiting te beoordelen, daarvoor is de dosering per oppervlak veel beter, deze is met BSF te bepalen. Voor de beoordeling van spotsprays zijn daarom bespuitingen met BSF en een precieze kwantificering van de dosering in het depositiepatroon van de spotspray erg aan te bevelen.

Bij sommige spotsprays zoals in Figuur 4 zijn grote druppels zichtbaar. Deze zijn niet wenselijk in een verdeling omdat dan veel middel op een klein oppervlak terecht komt en deze druppels direct van het blad af kunnen rollen. In de PDPA metingen zijn deze druppels ook niet gemeten omdat het diameter bereik in deze metingen tot 1 mm gaat en de kans dat een druppel van die afmeting precies door het meetvolume valt ($\sim 1.5 \text{ mm}^3$) is daarbij erg klein. Verder zijn bij de verwerking van de BSF en Nigrosine metingen de bijdragen van deze druppels verdeeld over een oppervlak van 4 cm^2 waardoor de velden met deze grote druppels door middeling niet langer herkenbaar zijn. In de praktijk zouden deze druppels minder voor kunnen komen omdat er vaak oppervlaktenspanning verlagende middelen aan de spuitvloeistof worden toegevoegd (wat niet in deze metingen is gedaan). De les hieruit is dat in nieuwe metingen Agral aan de spuitvloeistof moeten worden toegevoegd om dit effect te verkleinen. De verwachting is dat de resultaten hierdoor echter weinig veranderen.

Uit Figuur 5 blijkt dat de spotspray lengte goed reproduceert voor zowel de Nigrosine- als de BSF-spotsprays. Als uit de cyclustijd, druppelgrootte, druppelsnelheid en meetpositie van de PDPA-metingen een spotspray wordt gemodelleerd die bij dezelfde rijsnelheden als van de Nigrosine- en BSF-spotsprays zou ontstaan blijkt deze veel langer te worden. Daarnaast blijkt uit de Nigrosine metingen dat de grote druppels, afhankelijk van de PWM-instelling, in wisselende delen van de spotspray uitkomen (voorin voor Figuur 7 of juist meer verdeeld Figuur 6 in Bijlage III). Ook blijkt uit die metingen dat de spotspray een lichte V-vorm krijgt bij sommige PWM-instellingen en voor andere juist niet (vergelijk Figuur 6 en Figuur 7 met Figuur 8 in Bijlage III). De massastraagheid en de entrainment (collectief gedrag van de druppels) blijken de spotspray daarom te beïnvloeden. Deze dynamica blijkt nodig in het model om de druppelverdeling uit de PDPA-metingen te vertalen naar een druppelverdeling in de spotspray van een rijdende spuit. Om dit te realiseren zal de entrainment van de spotspray in kaart gebracht moeten worden.

4.2 PWM druppelgrootte en driftgevoeligheid

De certificering van een spotspray systeem naar driftreductie (TCT, 2014) kan niet volgens de standaard methode uitgevoerd worden. Omdat het toepassen van spotsprays juist een variabele dosering inhoudt, kan er niet een drift berekend worden als percentage van de uitgebrachte dosering zoals gebruikelijk voor een certificering. De dosering kan immers veranderen afhankelijk van het sensorsignaal.

De druppelgrootteverdeling in de spuitkegel van de PWM-dop wordt beïnvloed door de dynamica van de spuitvloeistof in de dop, het begin en eind van de spotspray hebben een iets andere druppelverdeling dan in het midden. Daarnaast heeft de lengte van de spotspray en de pauzes tussen de spotsprays invloed op de entrainment

in de spuitkegel. Het druppelgroottespectrum en de snelheidsmetingen met de PDPA zullen daarom bij bijvoorbeeld 3 spotspray settingen bepaald moeten worden. Uit deze metingen moet blijken of deze resultaten ook voor andere instellingen van de PWM via interpolatie verkregen kunnen worden. Anders zijn daarvoor extra metingen nodig.

Een ander punt van aandacht is de afhankelijkheid van de rijsnelheid. We zien in de spotsprays dat soms de grote druppels voorin de spot terecht komen en juist de entrainment wordt ingang gezet door grote druppels. Bij een hogere rijsnelheid kan dat van invloed zijn op de drift. Met de Testbench (ISO22401, 2014; Balsari *et al.*, 2007), een meettechniek waarmee driftpotentie van een spuit wordt bepaald, zou in de spuitbaan een indicatie van een verschil in driftgevoeligheid ten opzichte van bekende in driftreductieklassen ingedeelde spuitdoppen bepaald kunnen worden.

In het driftmodel IDEFICS zouden een paar scenario's berekend moeten worden, bijvoorbeeld een overall bespuiting van 10%, 50% en 80% van het veld, analoog aan de manier waarop verlaagde doseringssystemen worden beoordeeld voor certificering.

5. Conclusies

Metingen van de spotspray van de Rometron Weedlt Pulse Width Modulation (PWM) spuitdop met Nigrosine geven een goed globaal beeld van de bespuiting maar hieruit resulteert alleen een waarde voor de bedekkingsgraad. Deze bedekkingsgraad is minder geschikt om de kwaliteit van een bespuiting te beoordelen, daarvoor is de dosering per oppervlak binnen de spotspray veel beter, deze is met de fluorescerende stof Brilliant Sulfo Flavine (BSF) te bepalen. Voor de beoordeling van spotsprays zijn daarom bespuitingen met BSF en een precieze kwantificering van de dosering in het depositiepatroon van de spotspray aan te bevelen.

De druppelverdeling van de PWM spotspray met TeeJet 4003E dop is bij een druk van 3 bar fijner dan bij 2 bar spuitdruk. Omdat de volumefractie druppels kleiner dan $100\mu\text{m}$ (V_{100}) bij 3 bar hoger is dan bij 2 bar zal daarmee ook de kans op drift hoger worden. Bij 3 bar spuitdruk zijn er in de druppelverdeling van de spotspray veel minder velden met een bedekking onder de 10% dan bij de spotsprays gemaakt bij 2 bar. De spotsprays met veel onderdosering ontstaan bij het 20% debiet, er is dan ook een sterke correlatie met de rijsnelheid. Een druk van 3 bar en een debiet van 50% geeft de beste bedekking en weinig onderdosering. Op basis van de V_{100} zal naar verwachting juist bij een druk van 2 bar en een debiet van 50% de drift minimaal zijn.

Als uit de cyclustijd, druppelgrootte, druppelsnelheid en meetpositie van de PDPA-metingen een spotspray wordt gemodelleerd die bij dezelfde rijsnelheden als van de Nigrosine- en BSF-spotsprays zou ontstaan blijkt deze veel langer te worden. Uit de Nigrosine metingen blijkt ook dat de grote druppels, afhankelijk van de PWM-instelling, in wisselende delen van de spotspray uitkomen en dat de spotspray een lichte V-vorm krijgt bij sommige PWM-instellingen en voor andere juist niet. De massastraagheid en de entrainment (collectief gedrag van de druppels) blijken de spotspray daarom te beïnvloeden. Deze dynamica blijkt nodig in het model om de druppelverdeling uit de PDPA-metingen te vertalen naar een druppelverdeling in de spotspray van een rijdende spuit. Om dit te realiseren zal de entrainment van de spotspray verder in kaart gebracht moeten worden.

Samenvatting

Sensor gestuurde spuitsystemen waarmee door middel van een sensor kwantitatief een aantasting of hoeveelheid onkruid (biomassa) in het veld gemeten kan worden vragen om spuitsystemen met een variabele dosering. Eén methode om dat te realiseren is met een Pulse Width Modulation (PWM) techniek het debiet van de spuitdop te variëren. Met deze debietinstellingen kunnen spotsprays worden gegenereerd om individuele planten een plantafhankelijke of specifieke dosis aan gewasbeschermingsmiddel te geven. In dit onderzoek is de druppelverdeling van een PWM-gemoduleerde dop (Rometron Weedlt, Steenderen), voor een debiet van 20% en 50% van het maximale debiet bij een druk van 2 en 3 bar, onderzocht. De spotsprays zijn bepaald met een bewegende dop bij snelheden van 1 m/s (3.6 km/u), 2 m/s (7.2 km/u) en 4 m/s (14.4 km/u). De spotsprays werden met zwarte kleurstof (Nigrosine) en de fluorescerende stof Brilliant sulfaflavine (BSF) uitgevoerd. Uit de Nigrosine metingen is de bedekkingsgraad per oppervlakte bepaald en uit de BSF-metingen de dosis toegediende spuitvloeistof per oppervlakte eenheid. Verder is de druppelgrootteverdeling van de spuitkegel met een Phase Doppler Particle Analyzer (PDPA) bepaald.

Metingen met Nigrosine geven een goed globaal beeld van de bespuiting maar hieruit resulteert alleen een waarde voor de bedekkingsgraad. Deze bedekkingsgraad is minder geschikt om de kwaliteit van een bespuiting te beoordelen, daarvoor is de dosering per oppervlak binnen de spotspray veel beter, deze is met BSF te bepalen. Voor de beoordeling van spotsprays zijn daarom bespuitingen met BSF en een preciese kwantificering van de dosering in het depositiepatroon van de spotspray aan te bevelen.

De druppelverdeling van de PWM spotspray met TeeJet 4003E dop is bij een druk van 3 bar fijner dan bij 2 bar spuitdruk. Omdat de volumefractie druppels kleiner dan $100\mu\text{m}$ (V_{100}) bij 3 bar hoger is dan bij 2 bar zal daarmee ook de kans op drift hoger worden. Bij 3 bar spuitdruk zijn er in de druppelverdeling van de spotspray veel minder velden met een bedekking onder de 10% dan bij de spotsprays gemaakt bij 2 bar. De spotsprays met veel onderdosering ontstaan bij het 20% debiet, er is dan ook een sterke correlatie met de rijsnelheid. Een druk van 3 bar en een debiet van 50% geeft de beste bedekking en weinig onderdosering. Op basis van de V_{100} zal naar verwachting juist bij een druk van 2 bar en een debiet van 50% de drift minimaal zijn.

Als uit de cyclustijd, druppelgrootte, druppelsnelheid en meetpositie van de PDPA-metingen een spotspray wordt gemodelleerd die bij dezelfde rijsnelheden als van de Nigrosine- en BSF-spotsprays zou ontstaan blijkt deze veel langer te worden. Uit de Nigrosine metingen blijkt ook dat de grote druppels, afhankelijk van de PWM-instelling, in wisselende delen van de spotspray uitkomen en dat de spotspray een lichte V-vorm krijgt bij sommige PWM-instellingen en voor andere juist niet. De massatraagheid en de entrainment (collectief gedrag van de druppels) blijken de spotspray daarom te beïnvloeden. Deze dynamica blijkt nodig in het model om de druppelverdeling uit de PDPA-metingen te vertalen naar een druppelverdeling in de spotspray van een rijdende spuit. Om dit te realiseren zal de entrainment van de spotspray verder in kaart gebracht moeten worden.

Literatuur

Balsari, P., P. Marucco & M. Tamagnone, 2007.

A test bench for the classification of boom sprayers according to drift risk. *Crop Protection* (2007) 26: 1482–1489.

Ctgb, 2014.

Gewasbeschermingsmiddelen databank. <http://www.ctgb.nl/toelatingen>

Kortenhoff, A., C. Kempenaar, L.A.P. Lotz, W. Beltman & L. den Boer, 2001.

Rational Weed Management on hard surfaces. Wageningen UR, Plant Research International. WUR-PRI Note 69A, Wageningen, 2001.

Holterman, H.J., J.C. van de Zande, H.A.J. Porskamp & J.F.M. Huijsmans, 1997.

Modelling spray drift from boom sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture*, (1997)19: 1-22.

TCT, 2014.

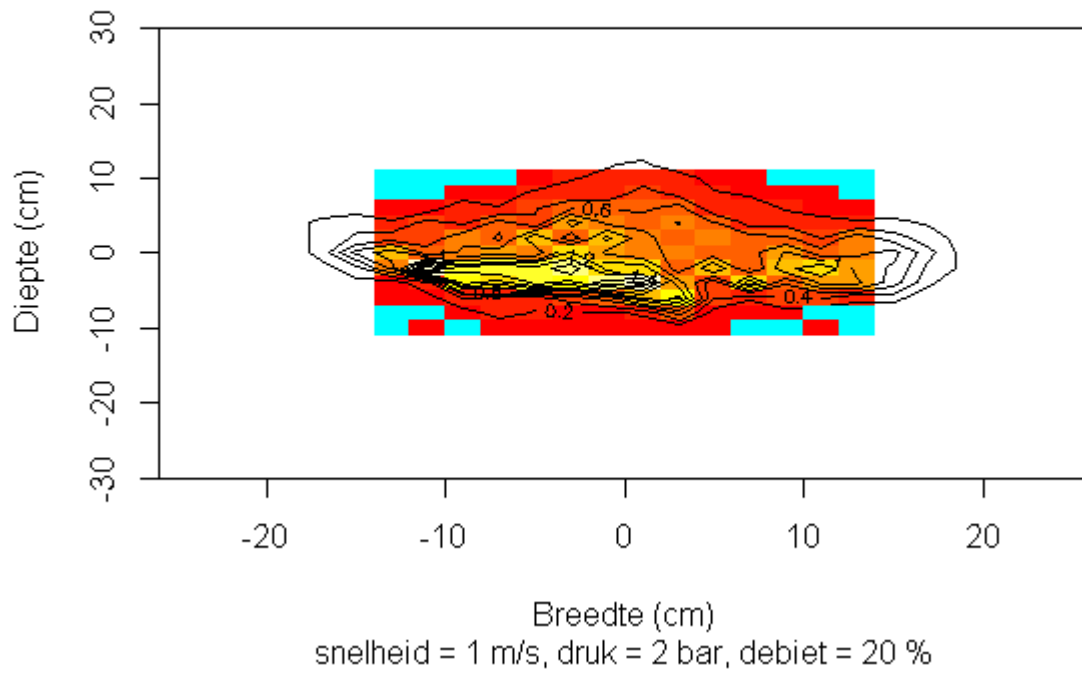
List with drift reducing technologies and nozzles. Website: www.helpdeskwater.nl

Zande, J.C. van de, H. Stallinga, J.M.G.P. Michielsen en P. van Velde, 2006.

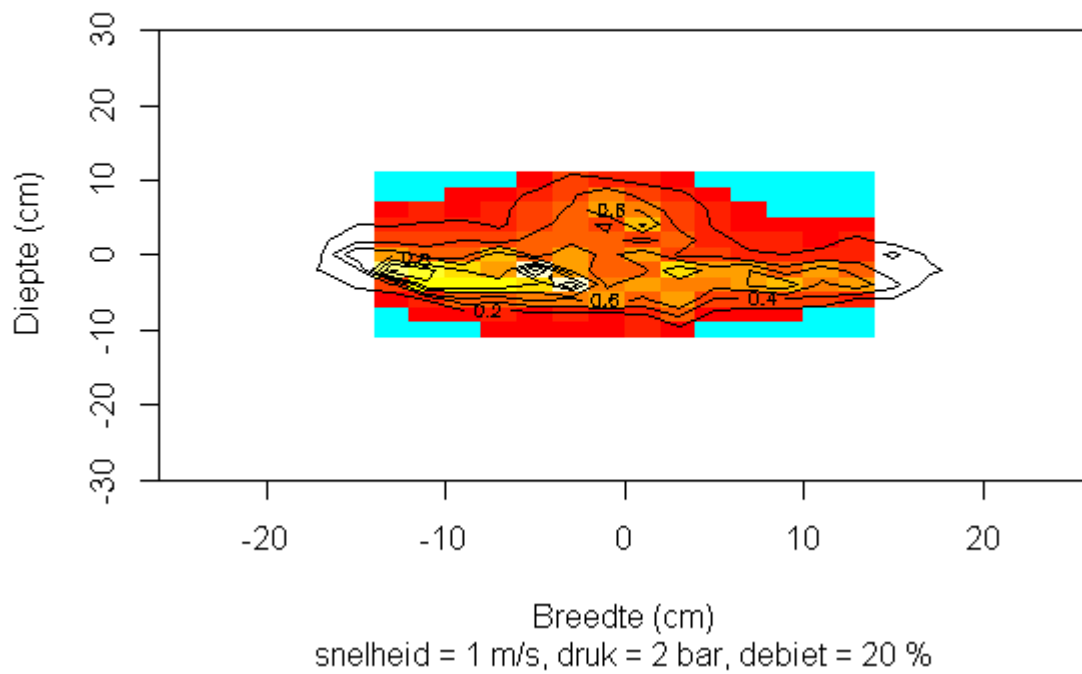
Driftreductie door Hardi Twin Force luchtondersteuning. Wageningen UR, Plant Research International. WUR-PRI rapport 124, Wageningen. 2006

Bijlage I.

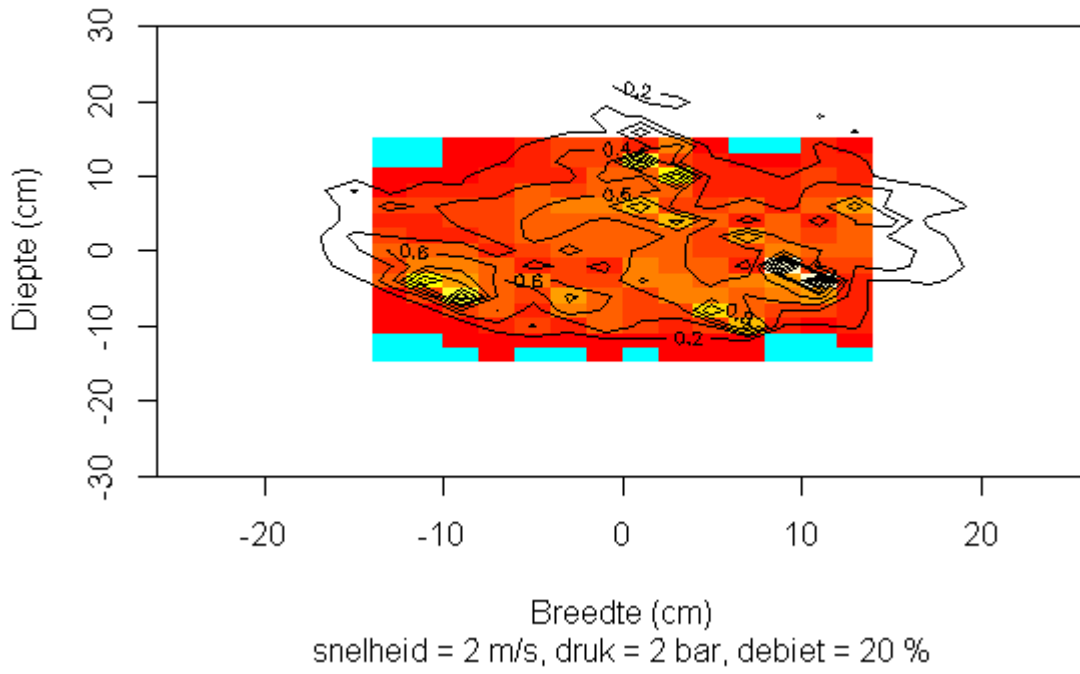
BSF



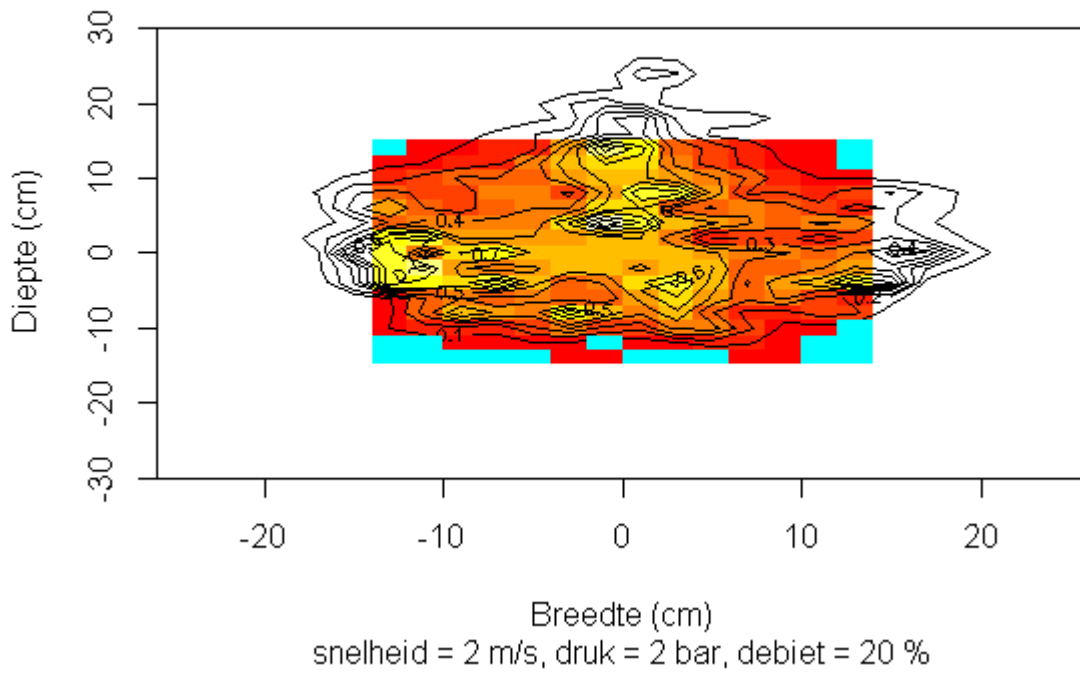
BSF



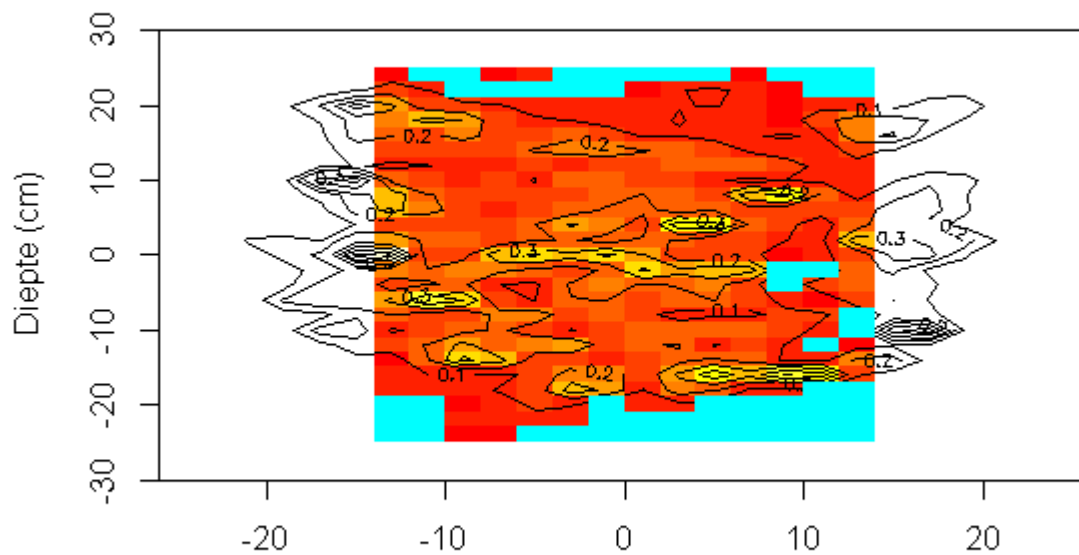
BSF



BSF

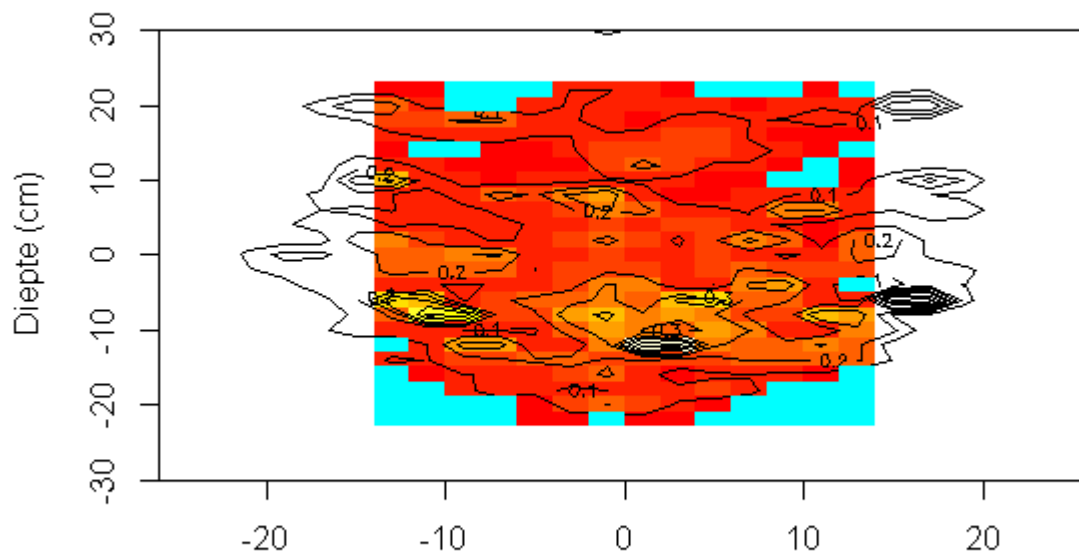


BSF



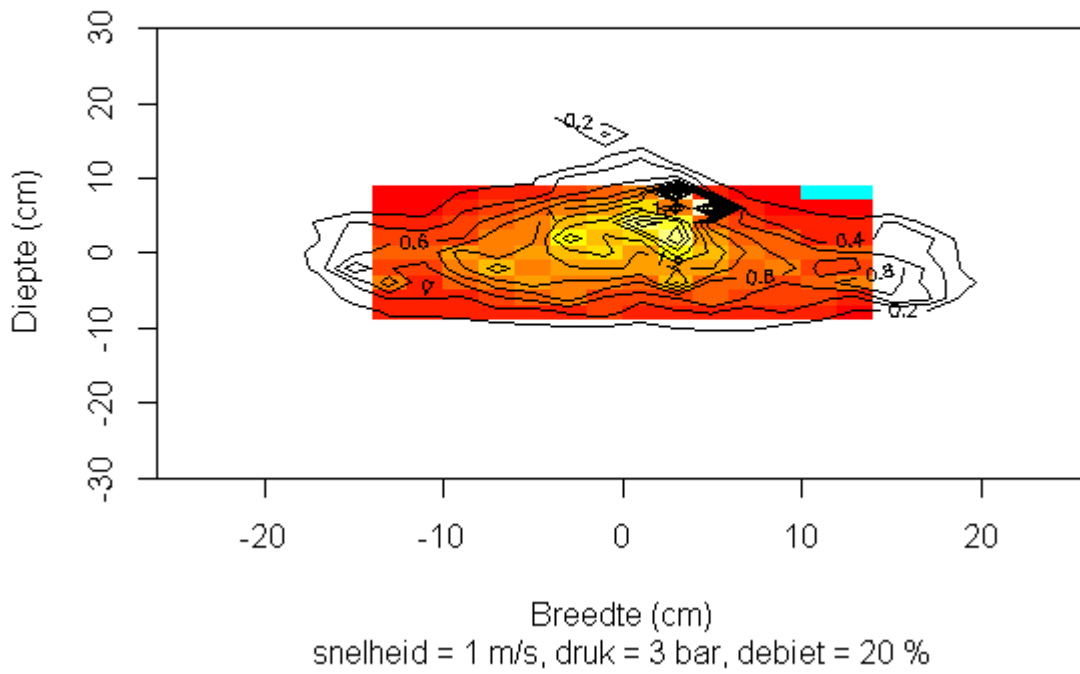
Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 2 bar, debiet = 20 %

BSF

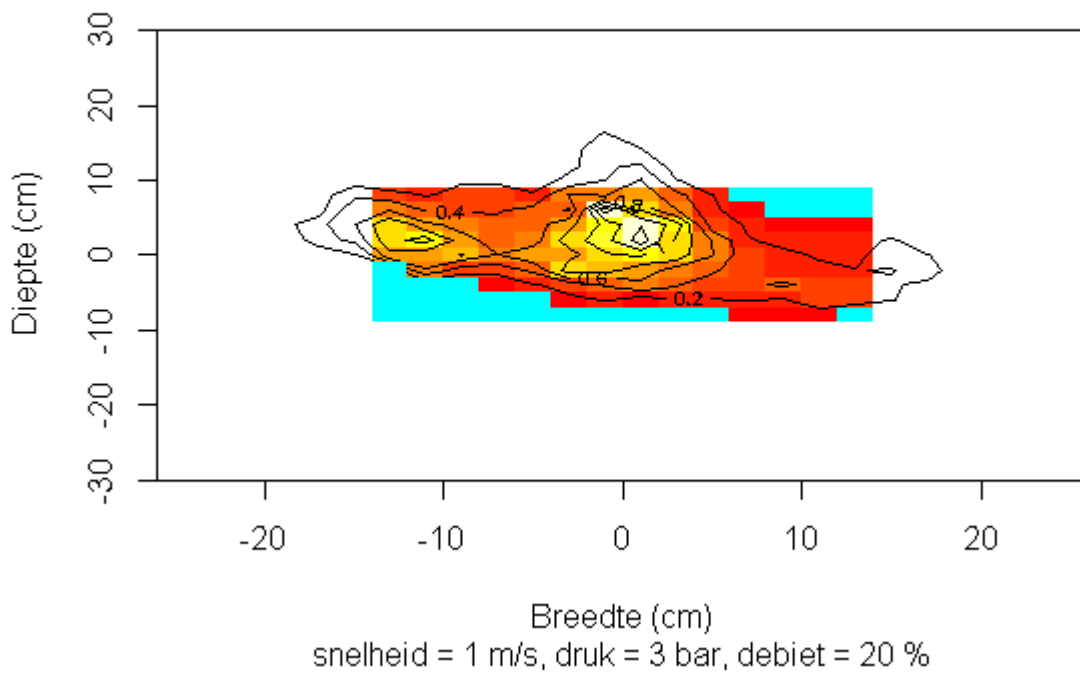


Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 2 bar, debiet = 20 %

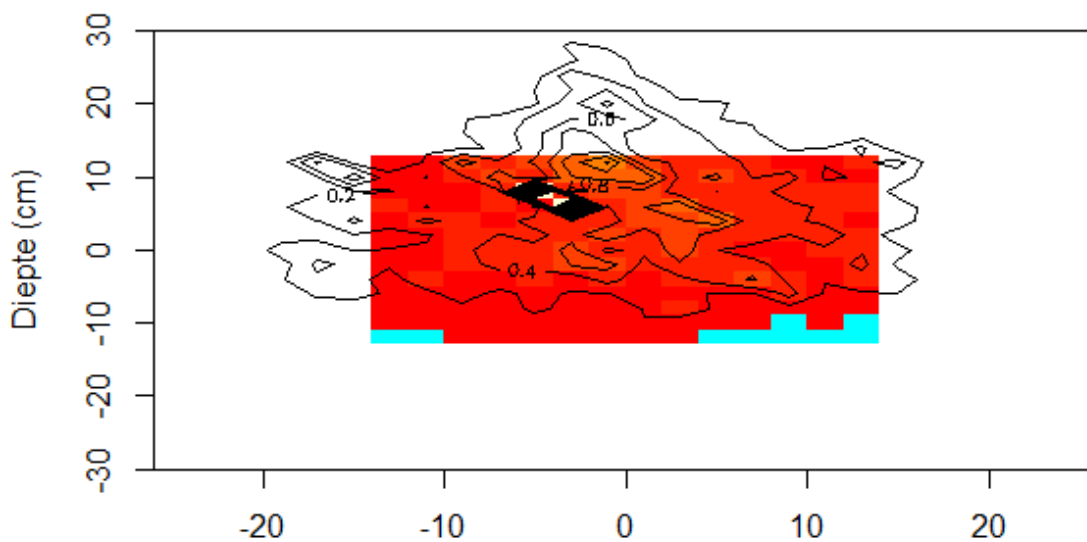
BSF



BSF

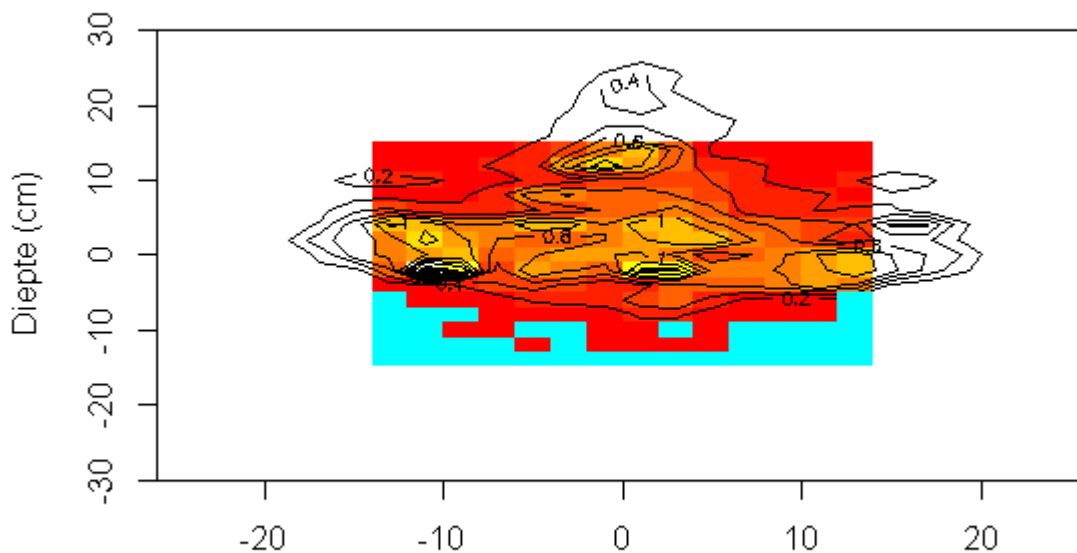


BSF



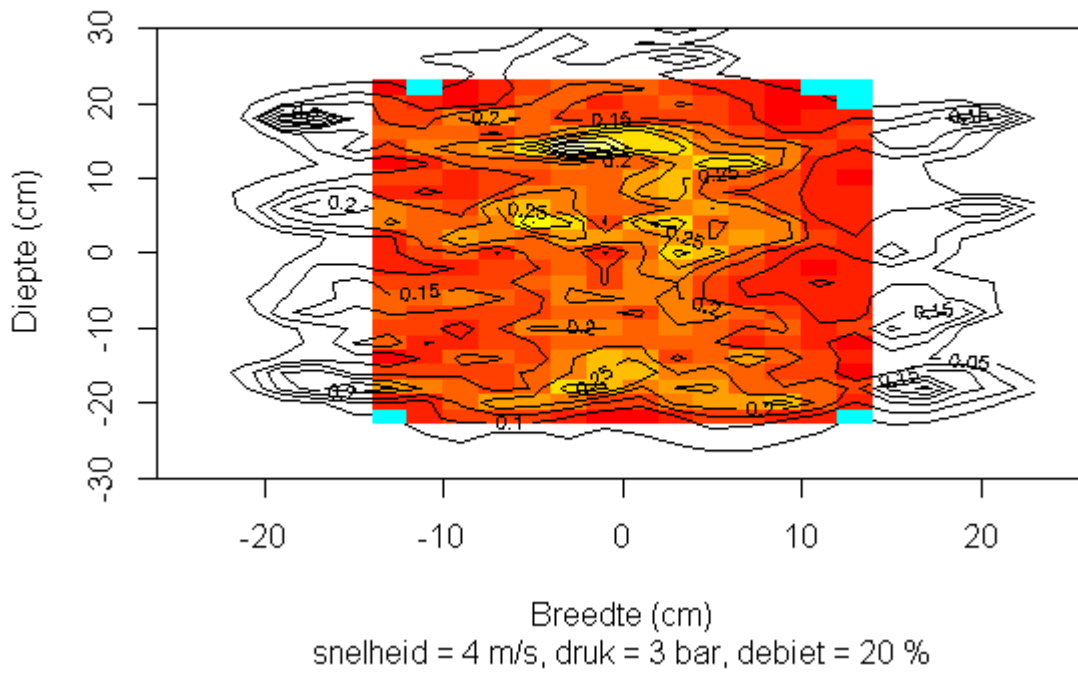
Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 3 bar, debiet = 20 %

BSF

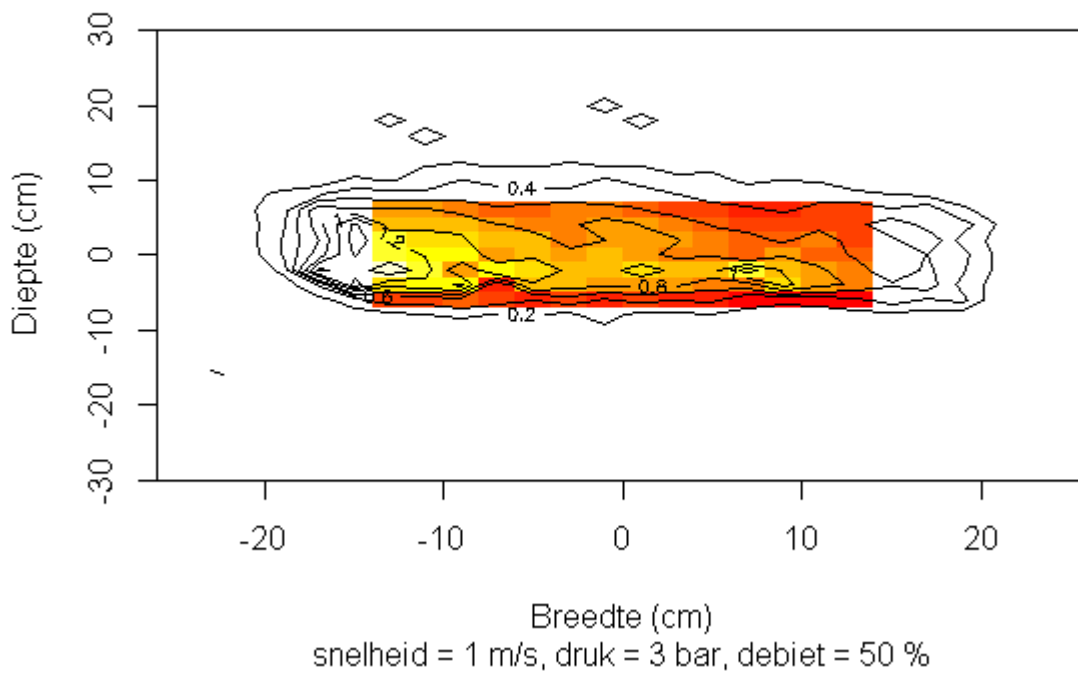


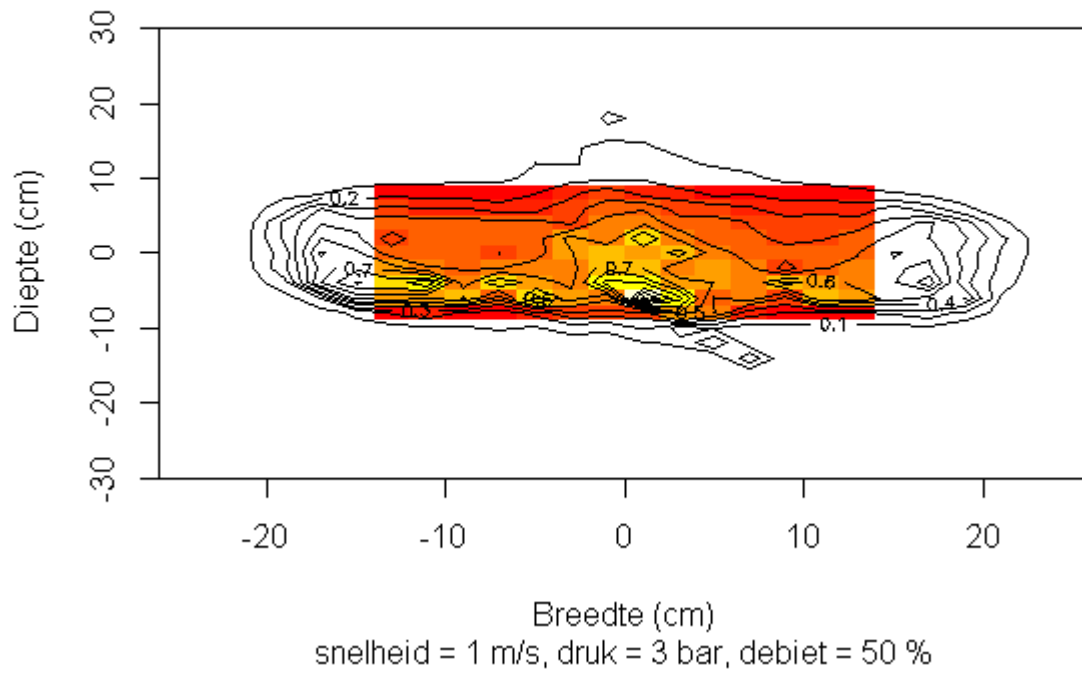
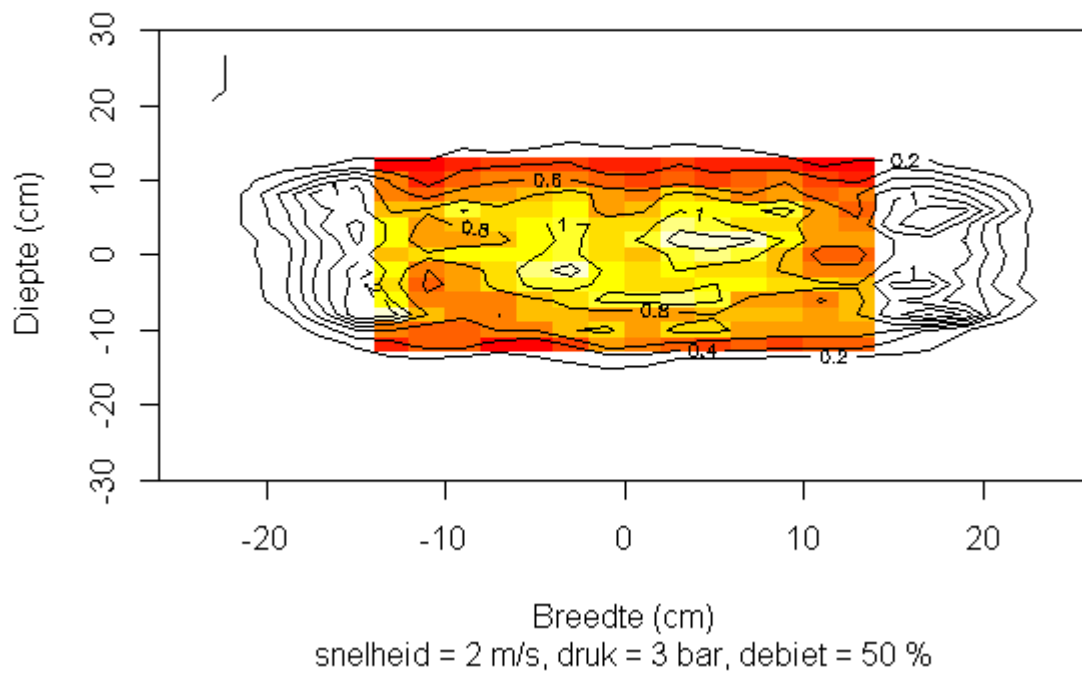
Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 3 bar, debiet = 20 %

BSF

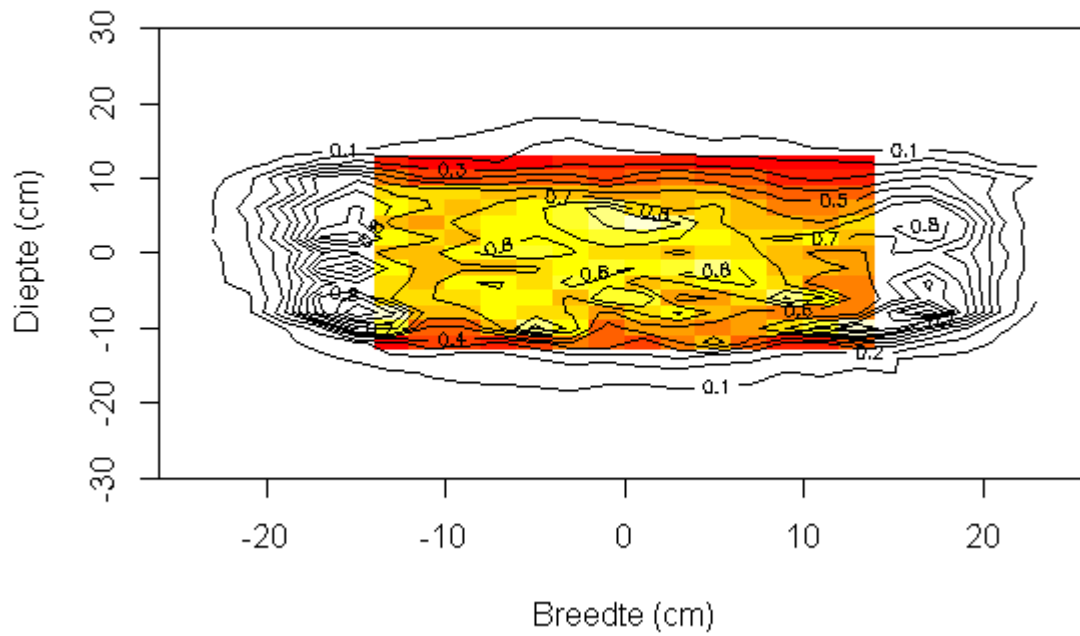


BSF

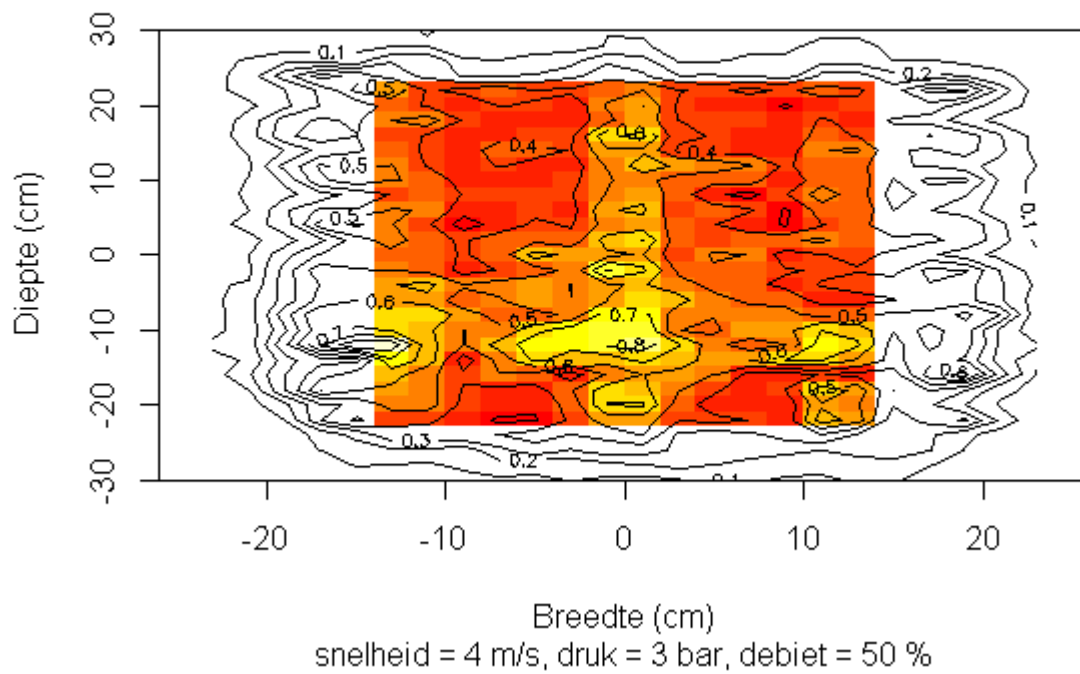


BSF**BSF**

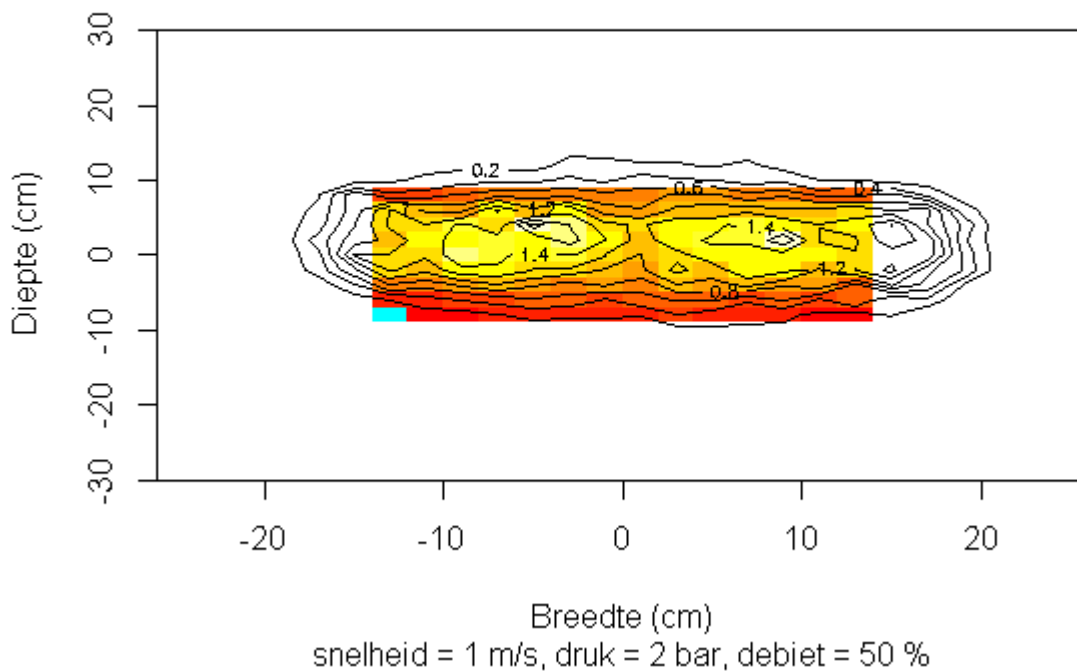
BSF



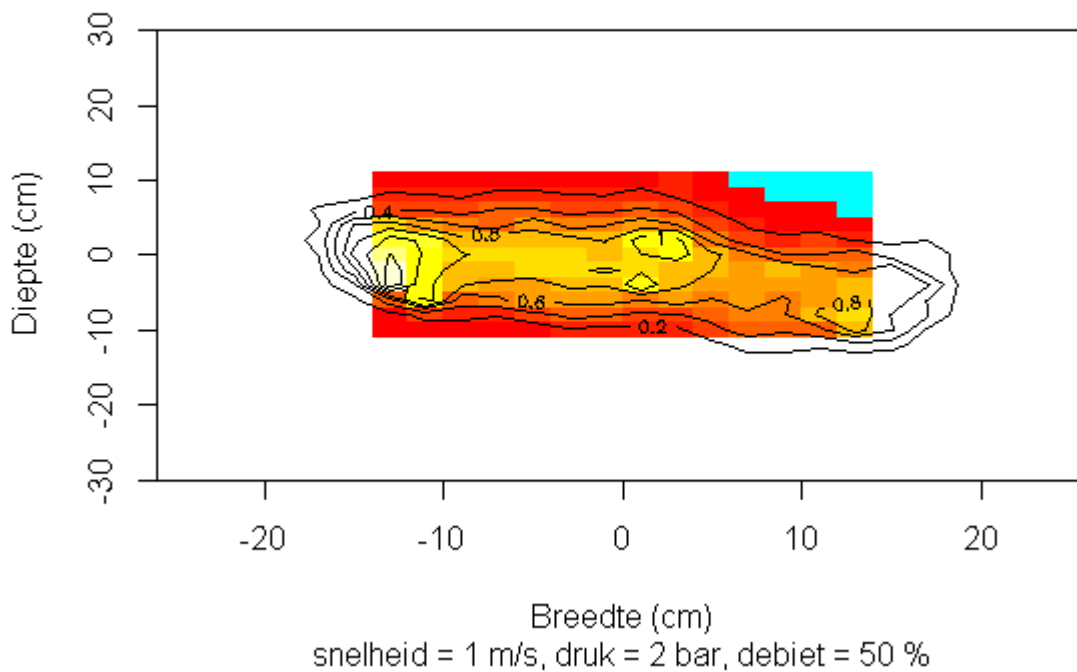
BSF



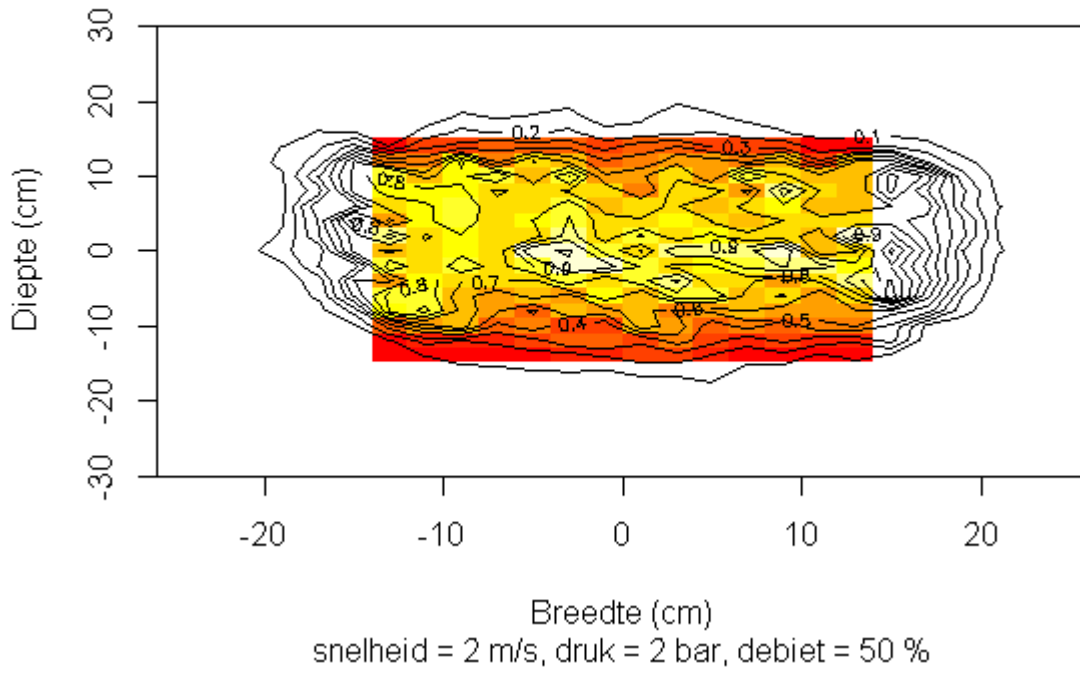
BSF



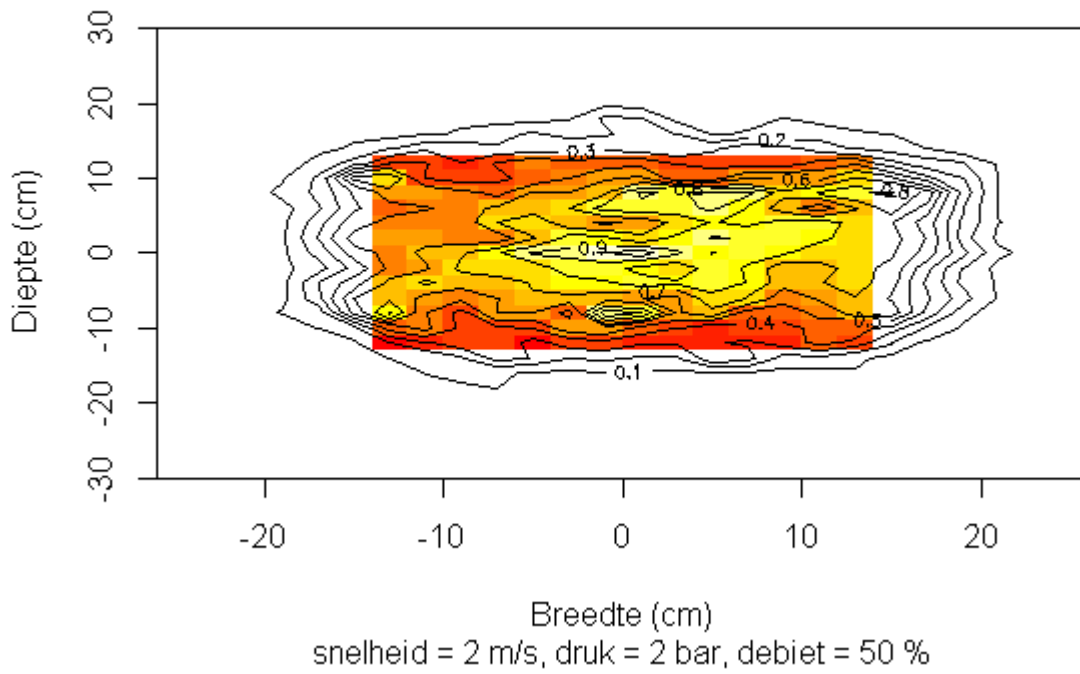
BSF

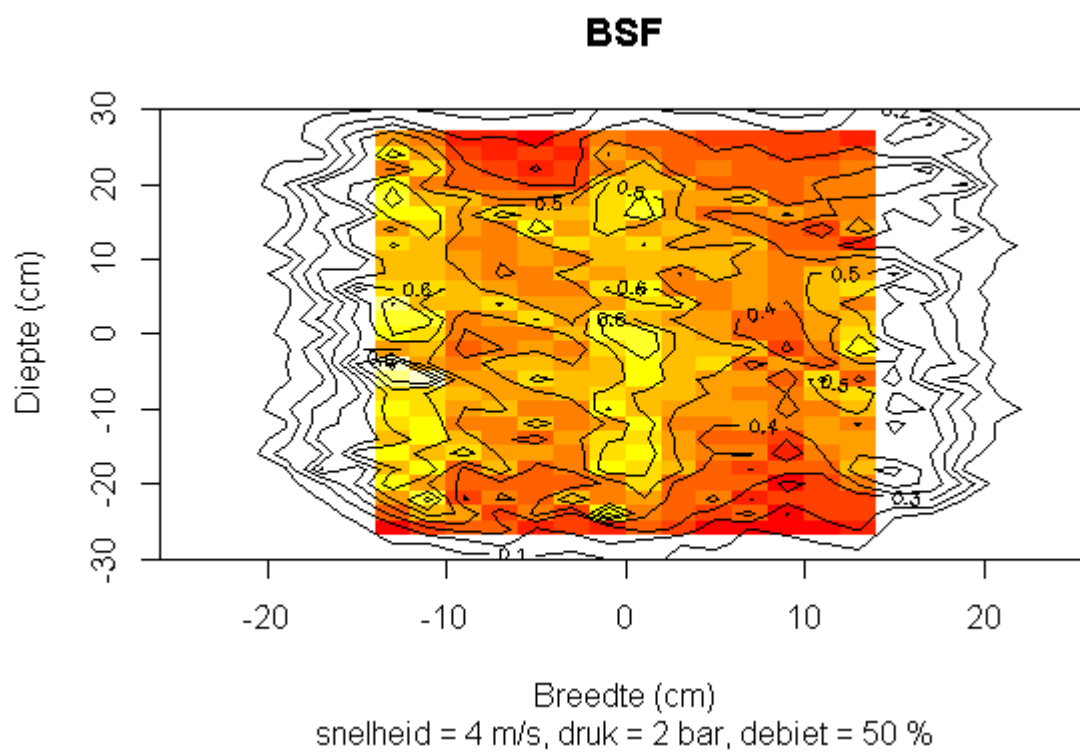


BSF



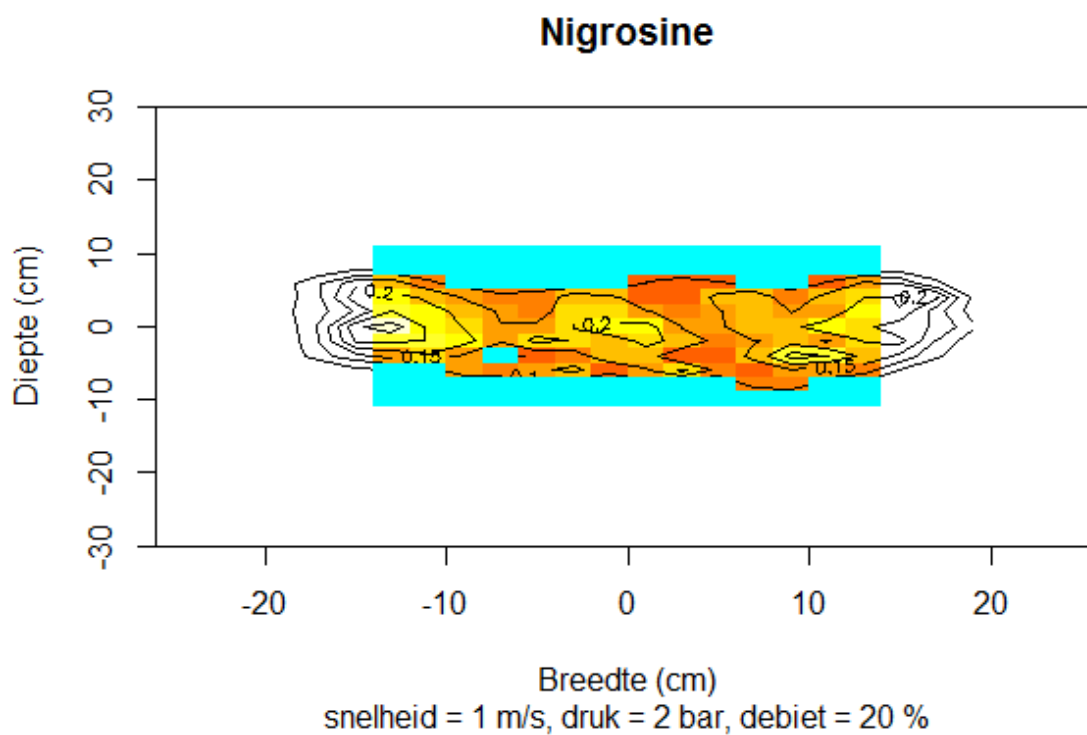
BSF



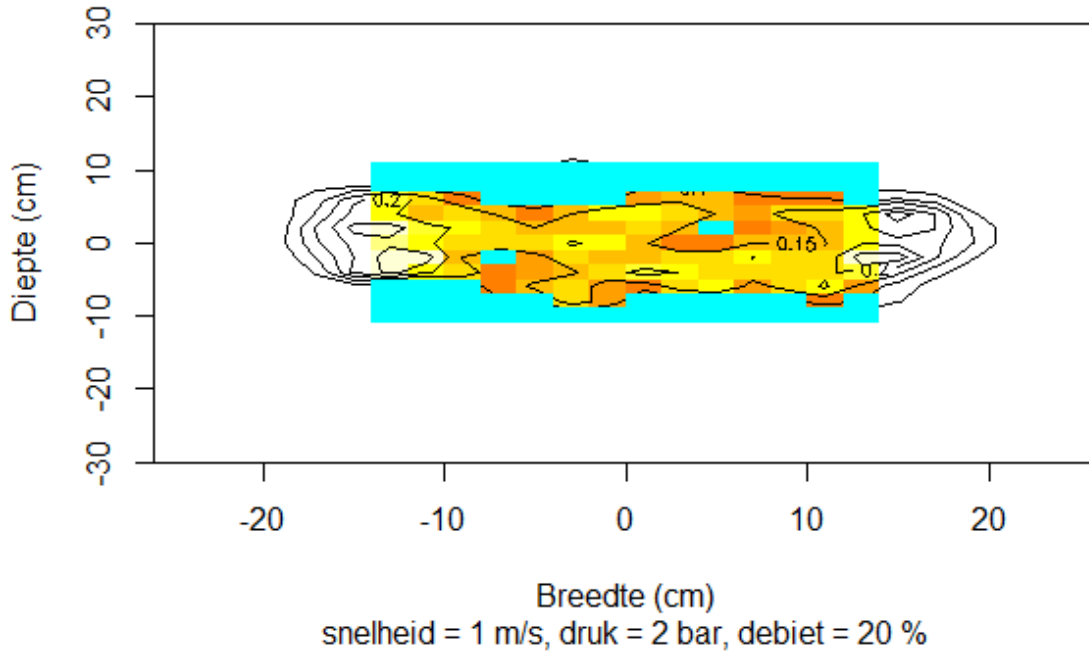


Bijlage II.

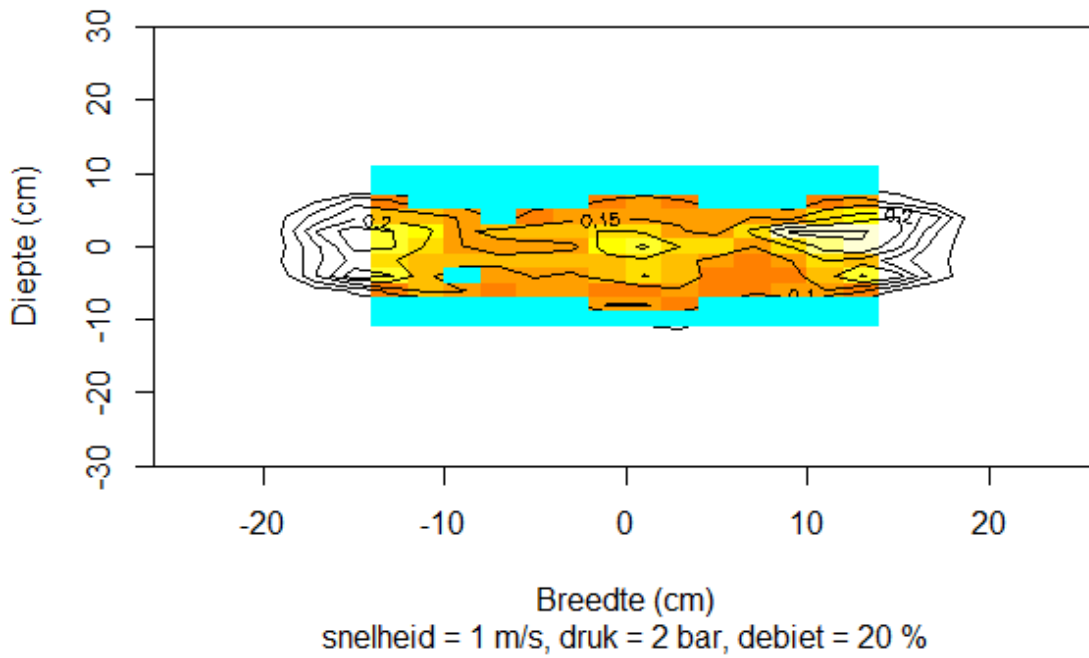
Weergave van alle Nigrosine spotsprays met daarin de velden met een bedekking < 10% (in blauw). De parameters waarbij de spotsprays zijn gemaakt staan onderin de figuur. Voor de breedte van de spotsprays is in alle gevallen ± 15 cm genomen.



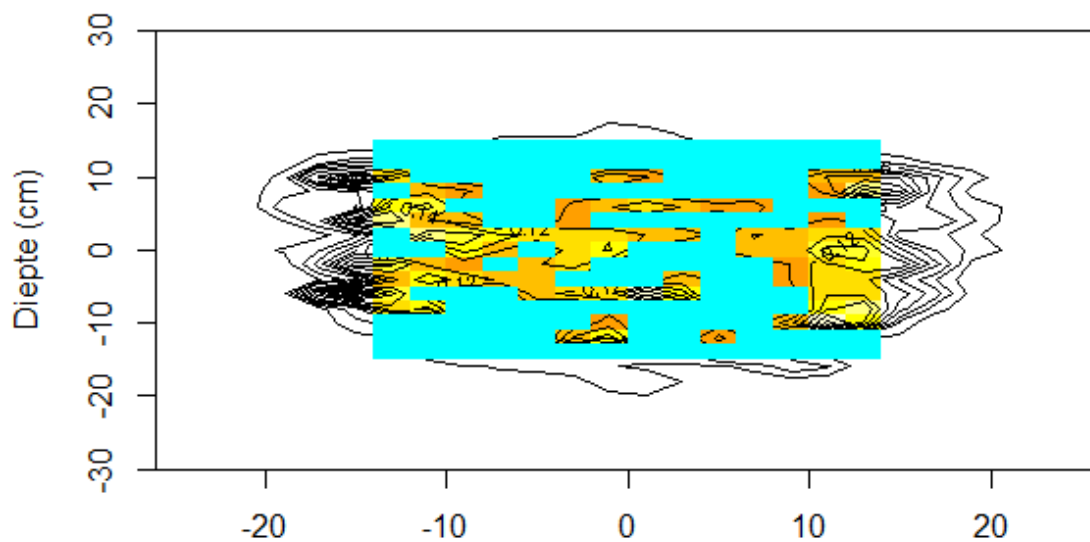
Nigrosine



Nigrosine

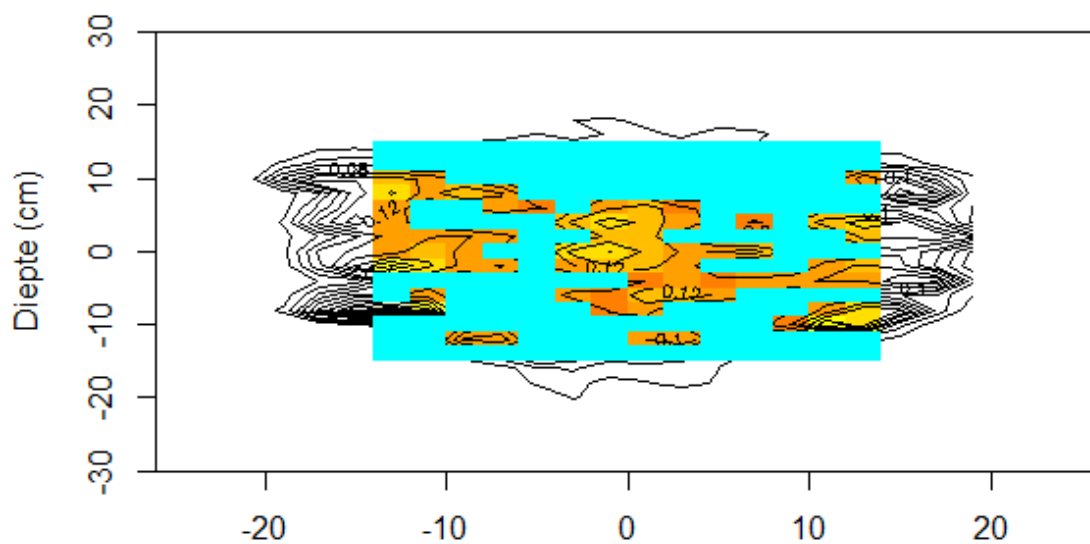


Nigrosine



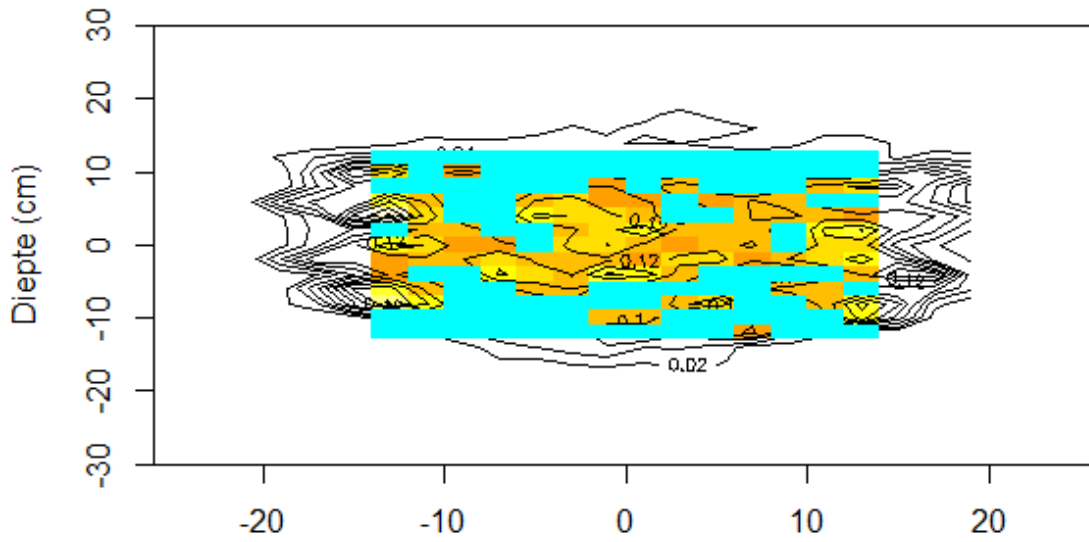
Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 2 bar, debiet = 20 %

Nigrosine



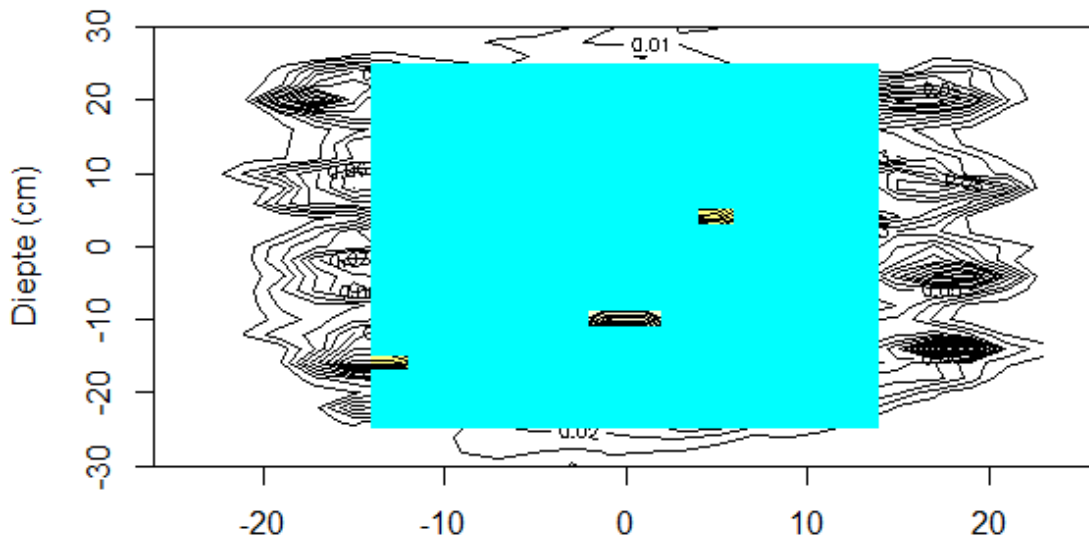
Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 2 bar, debiet = 20 %

Nigrosine



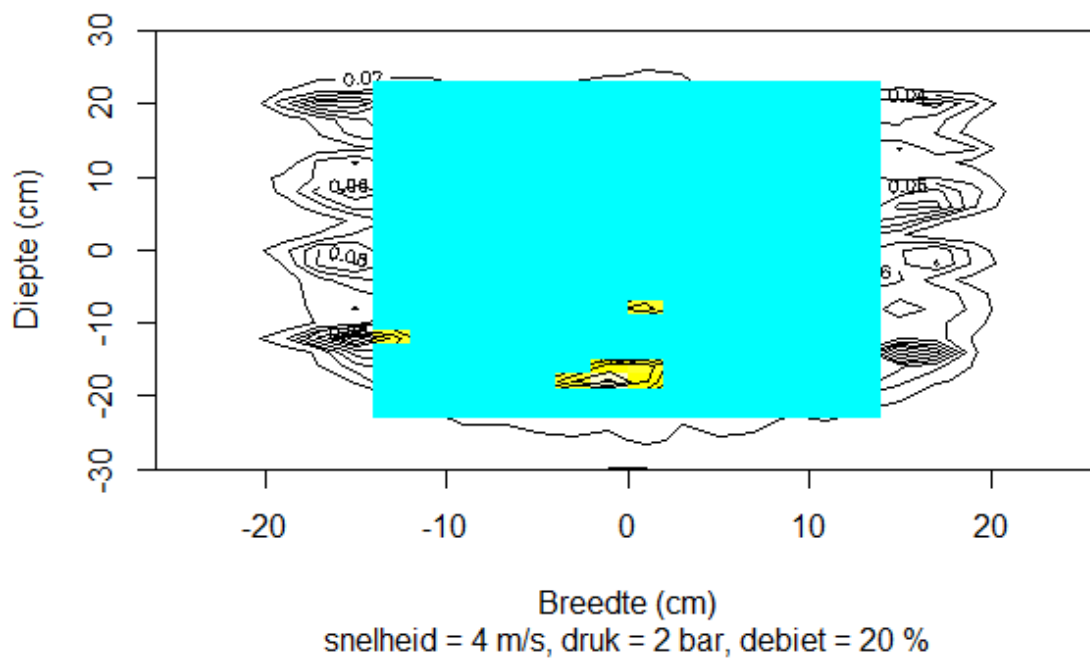
Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 2 bar, debiet = 20 %

Nigrosine

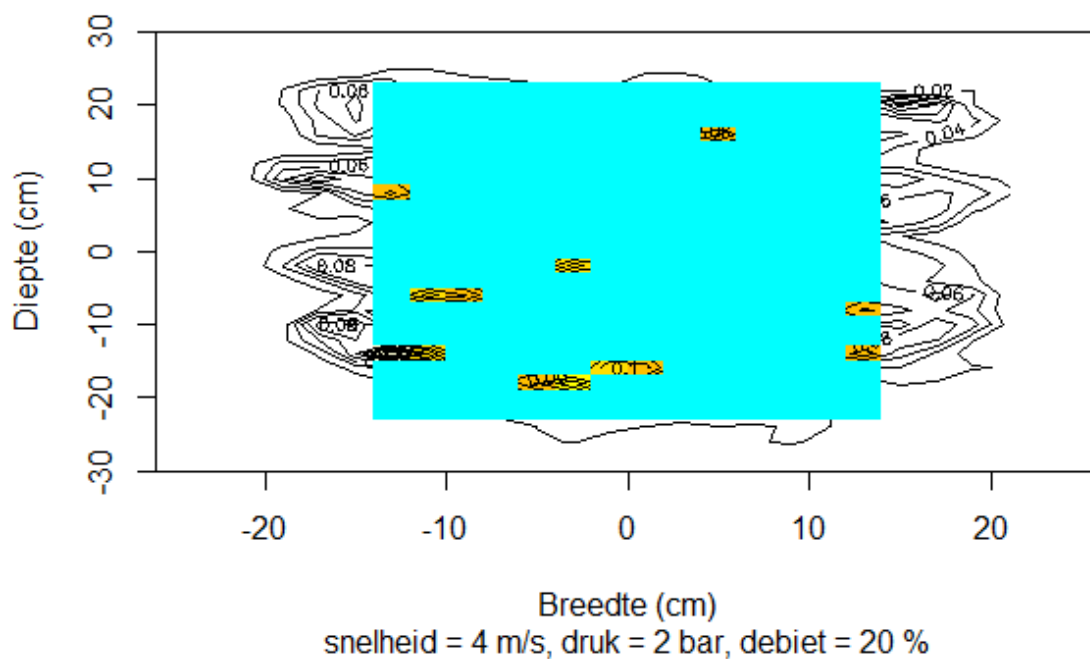


Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 2 bar, debiet = 20 %

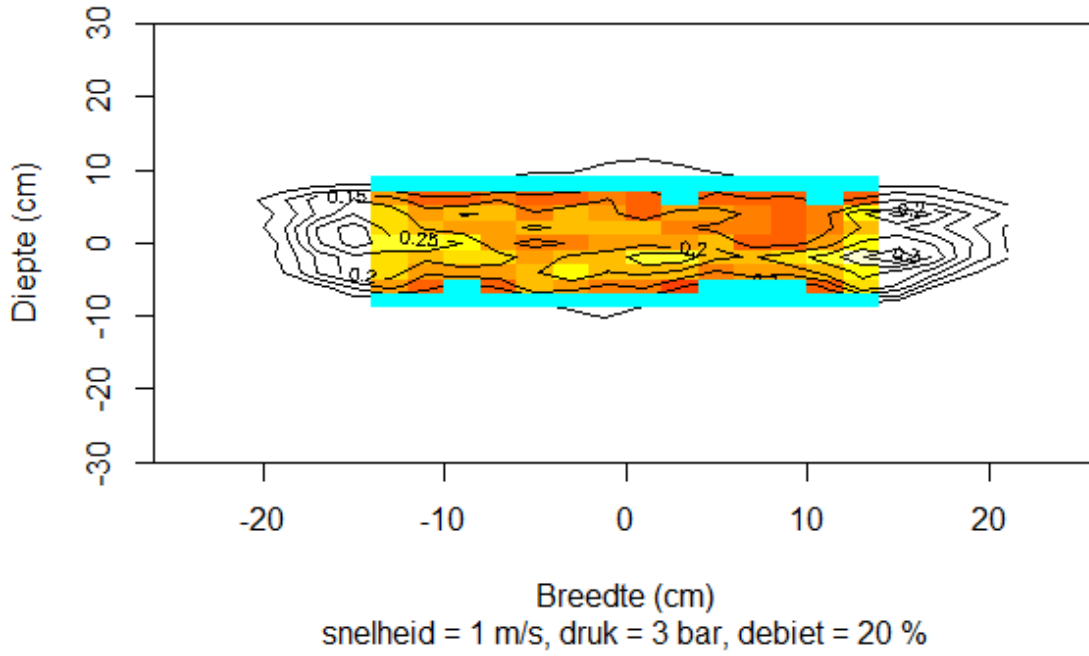
Nigrosine



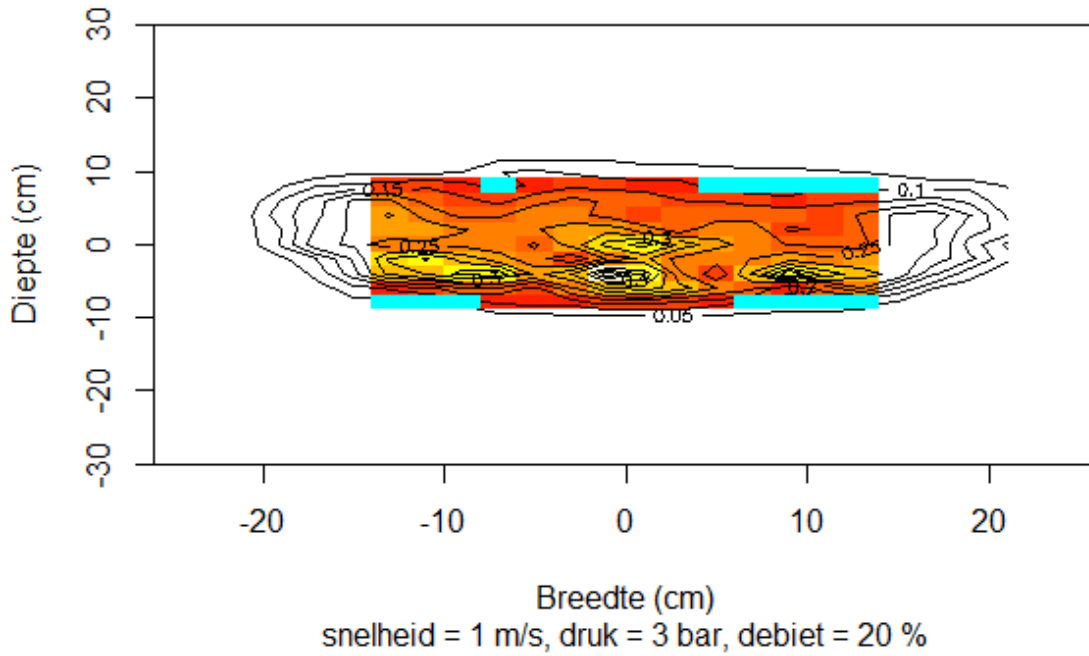
Nigrosine



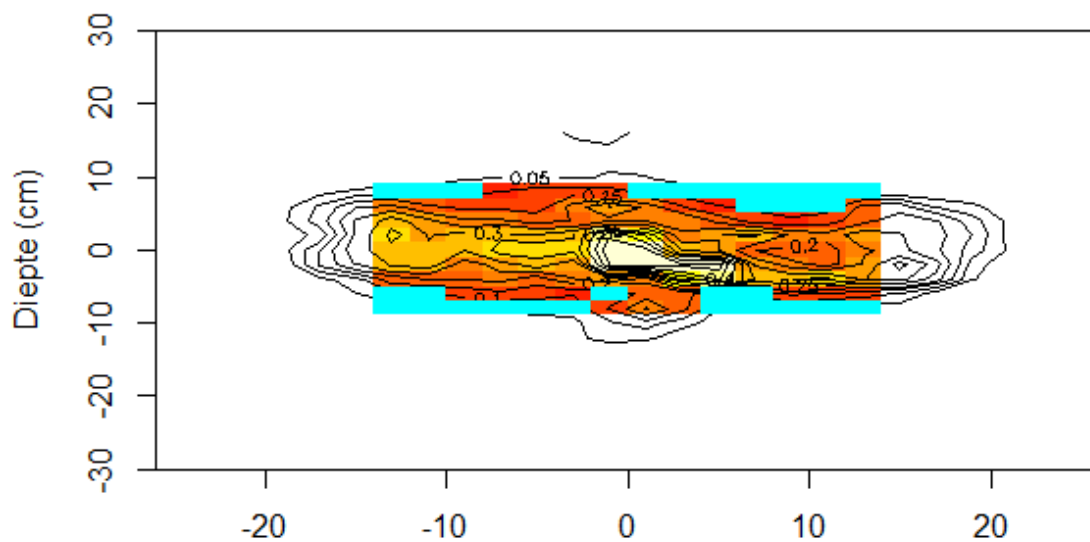
Nigrosine



Nigrosine

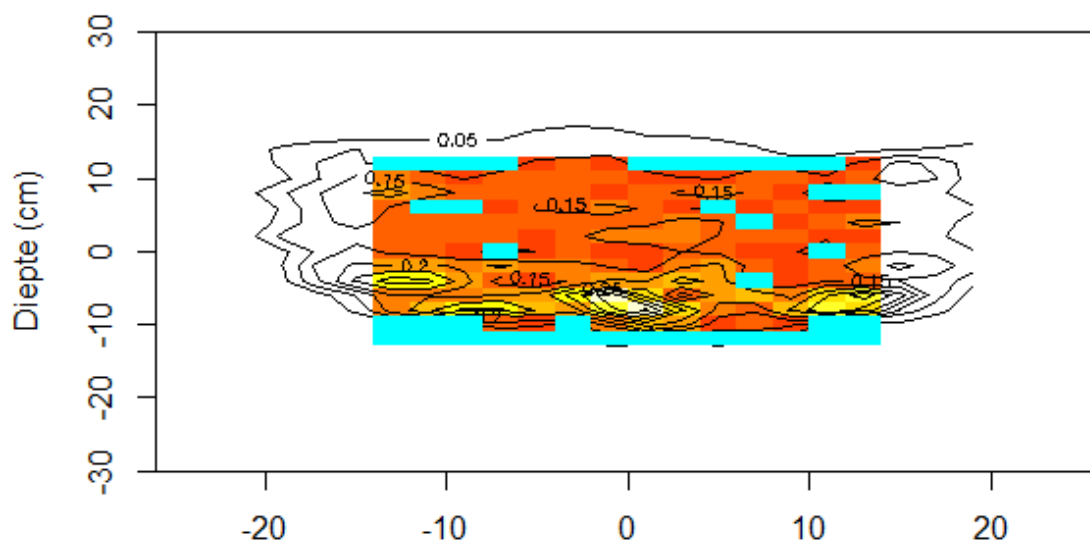


Nigrosine



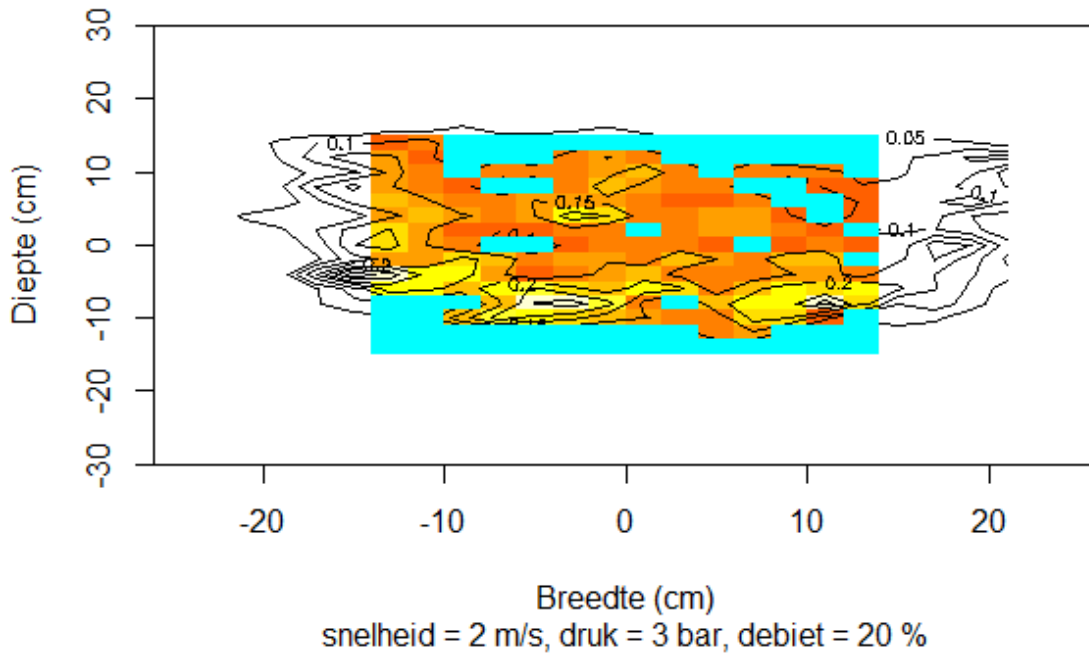
Breedte (cm)
snelheid = 1 m/s, druk = 3 bar, debiet = 20 %

Nigrosine

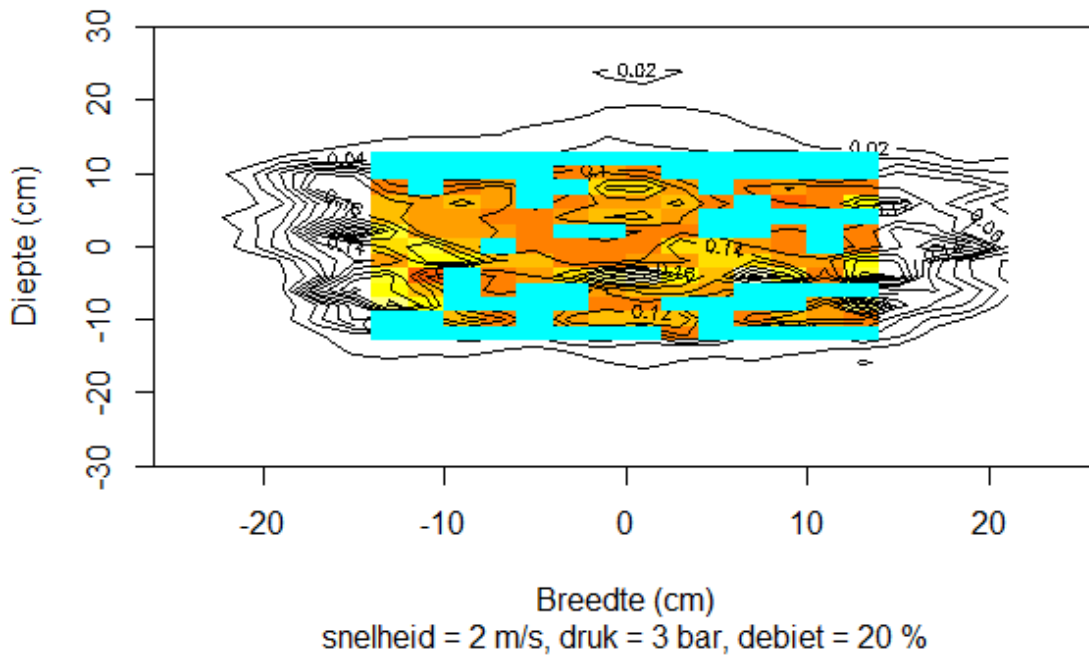


Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 3 bar, debiet = 20 %

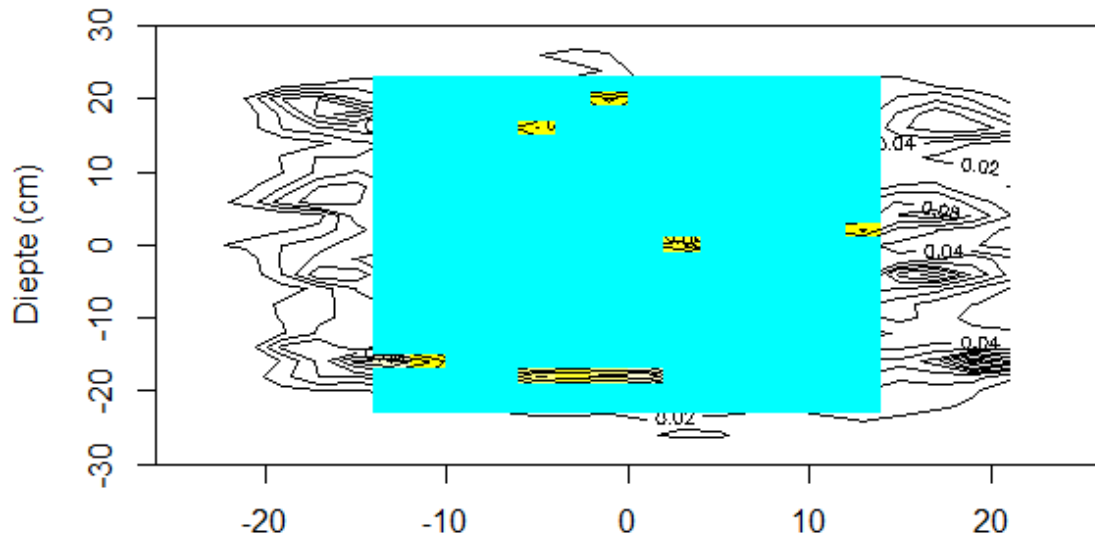
Nigrosine



Nigrosine

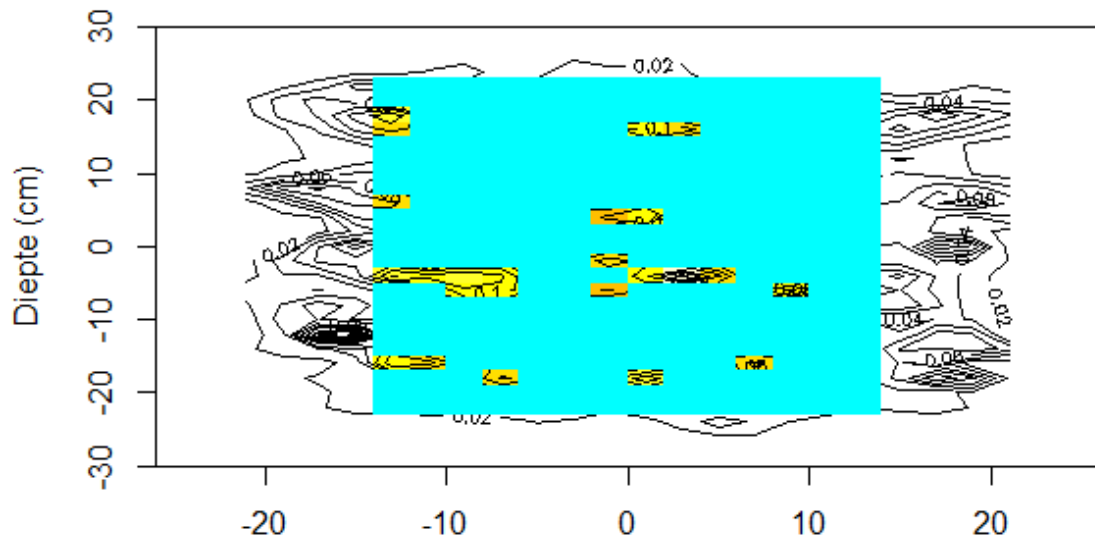


Nigrosine



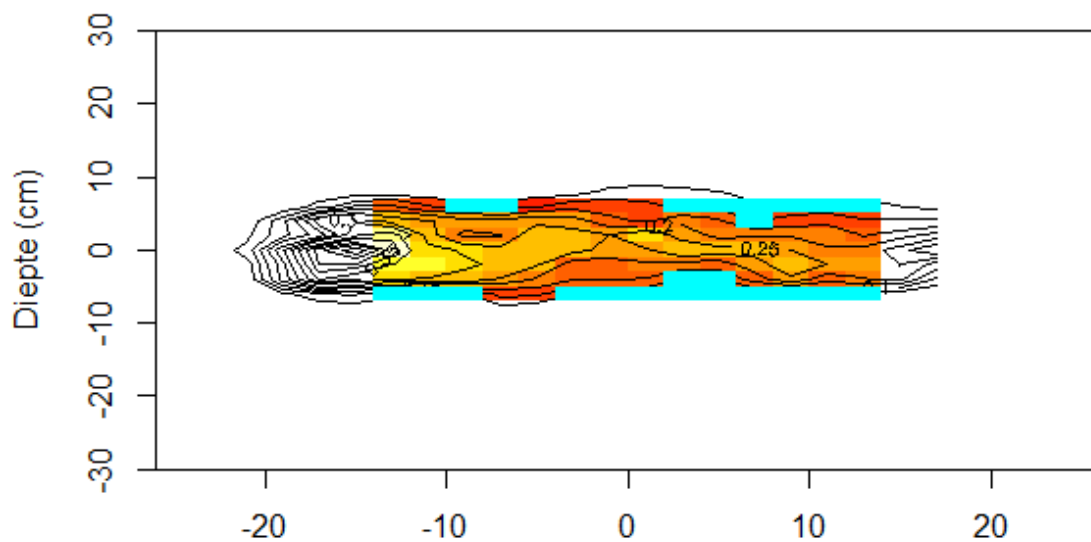
snelheid = 4 m/s, druk = 3 bar, debiet = 20 %

Nigrosine



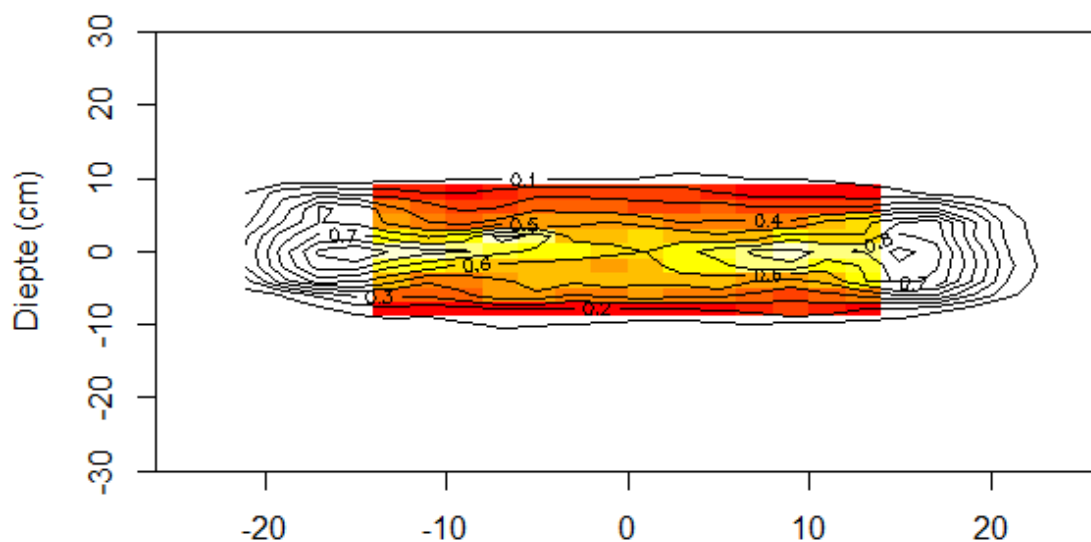
snelheid = 4 m/s, druk = 3 bar, debiet = 20 %

Nigrosine



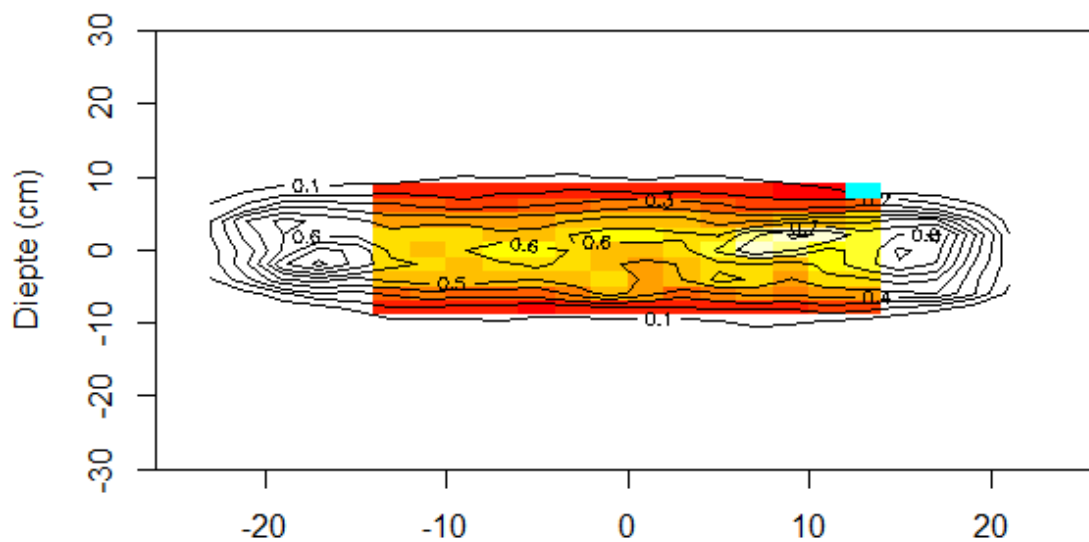
Breedte (cm)
snelheid = 1 m/s, druk = 3 bar, debiet = 50 %

Nigrosine



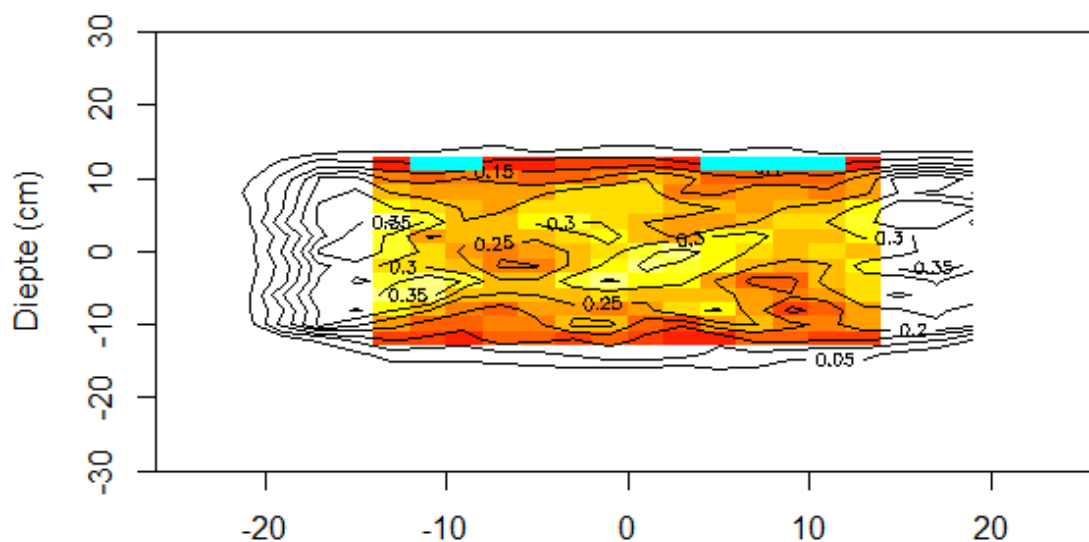
Breedte (cm)
snelheid = 1 m/s, druk = 3 bar, debiet = 50 %

Nigrosine



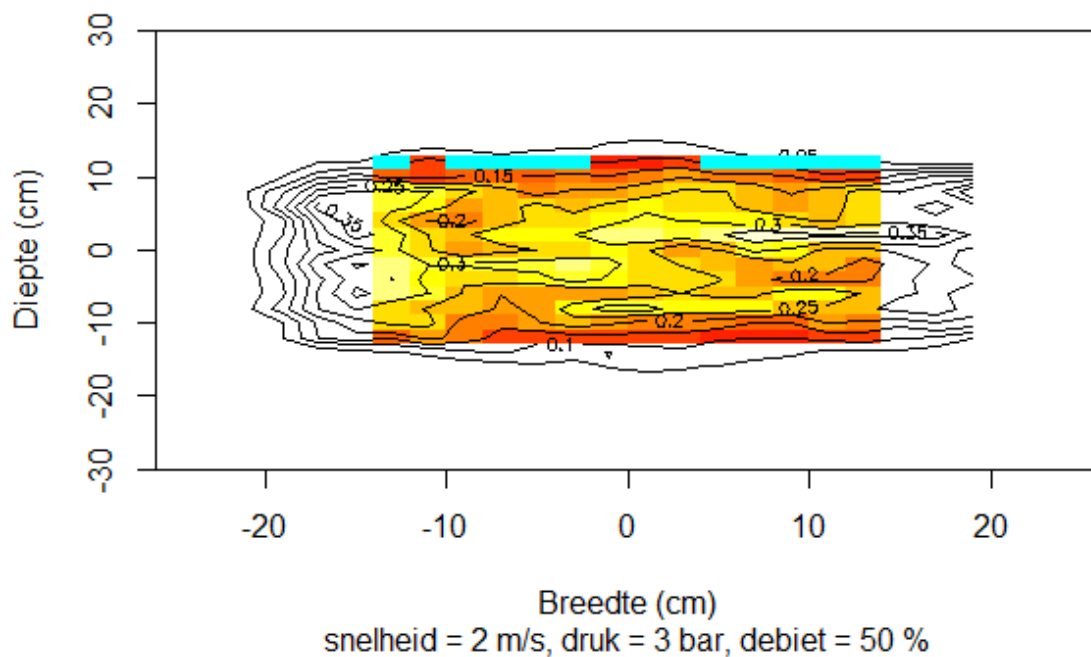
Breedte (cm)
snelheid = 1 m/s, druk = 3 bar, debiet = 50 %

Nigrosine

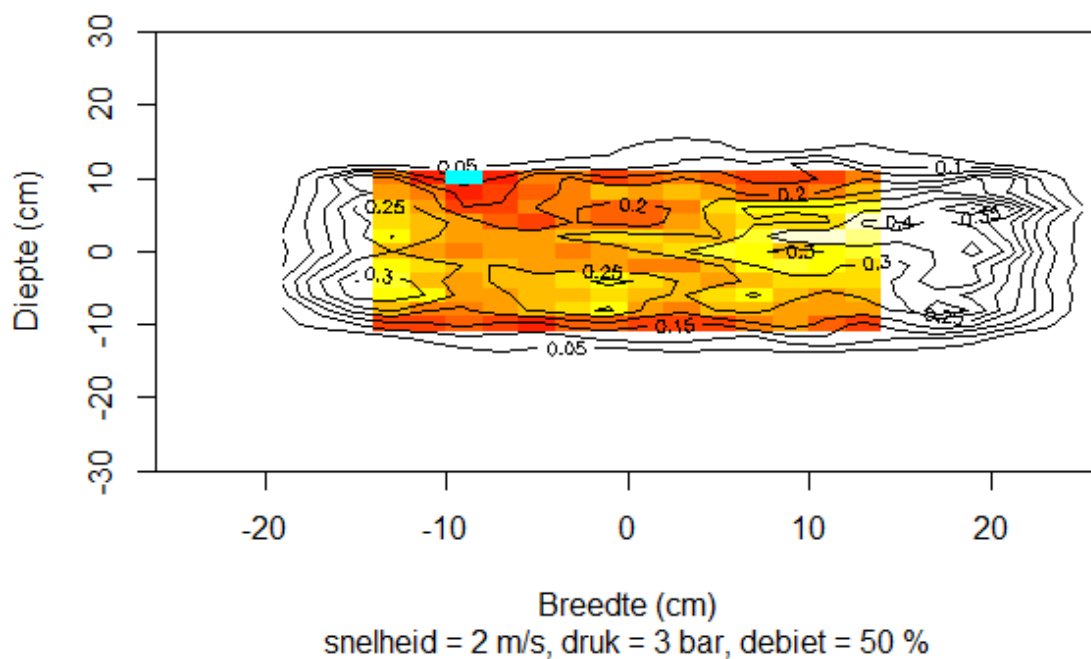


Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 3 bar, debiet = 50 %

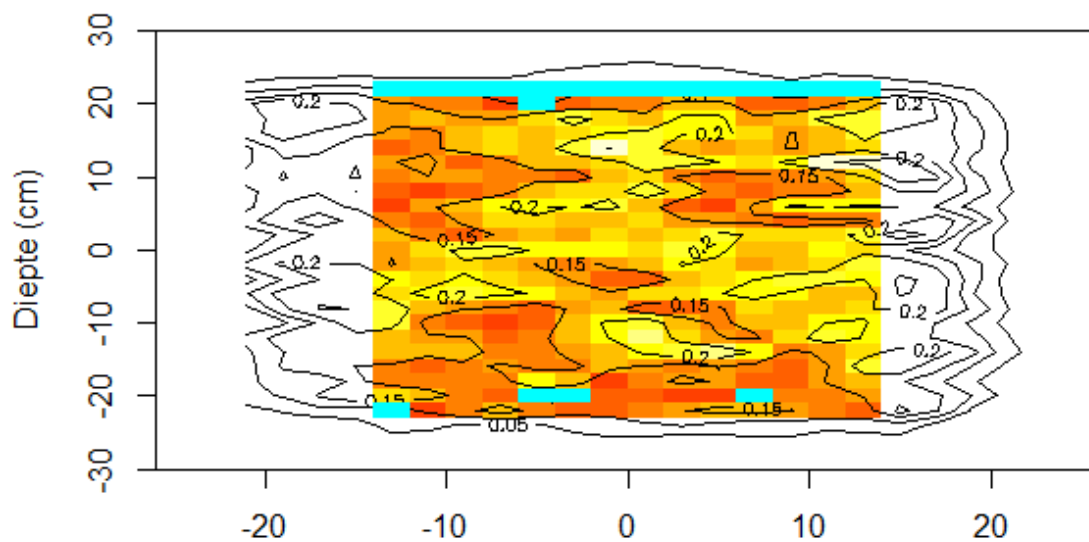
Nigrosine



Nigrosine

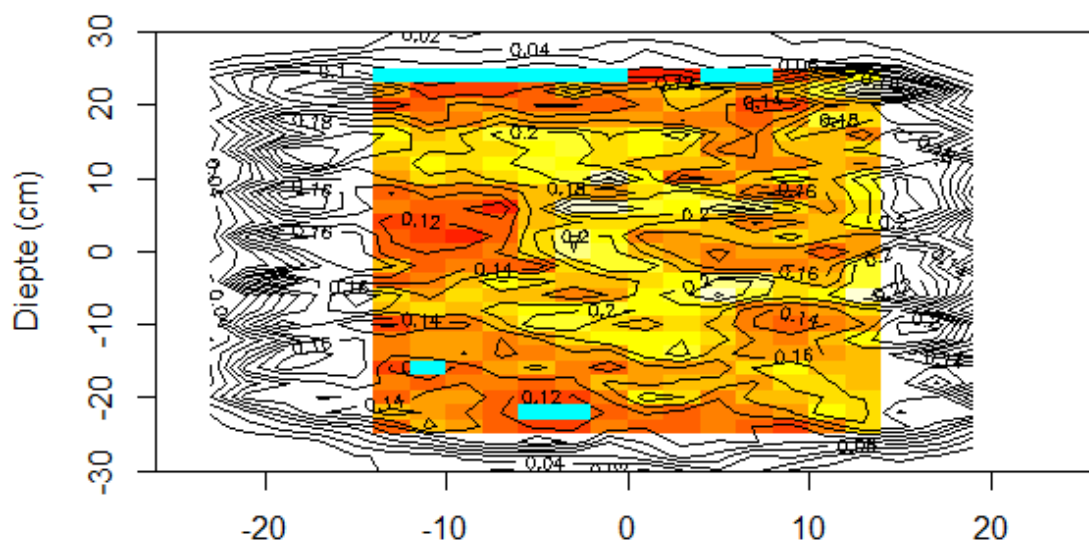


Nigrosine



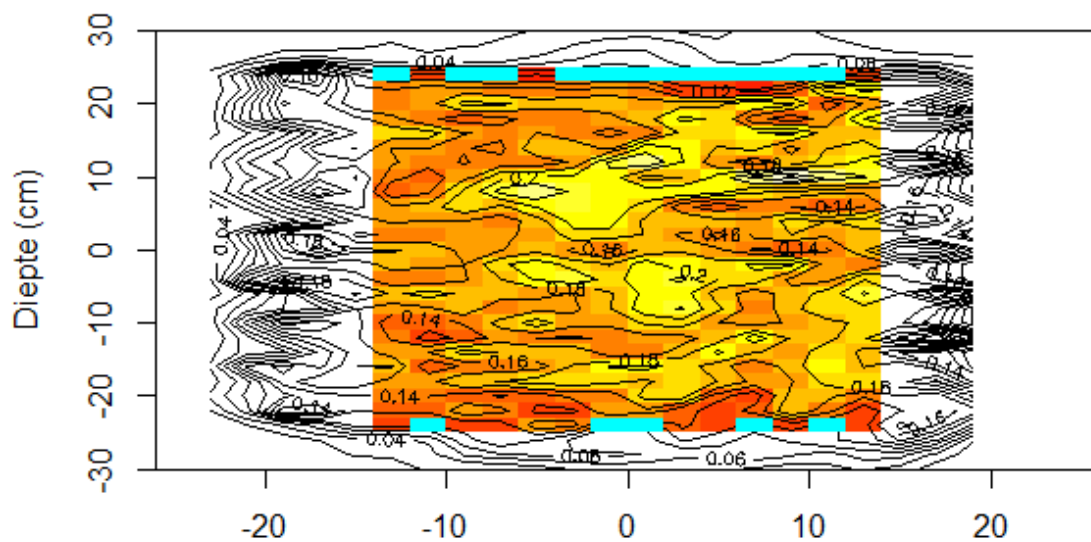
Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 3 bar, debiet = 50 %

Nigrosine



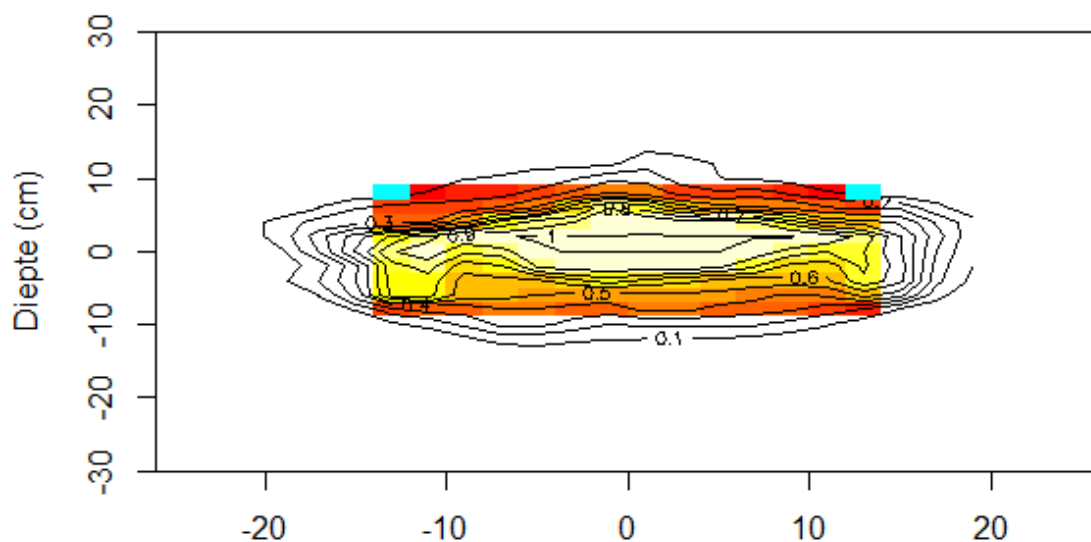
Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 3 bar, debiet = 50 %

Nigrosine



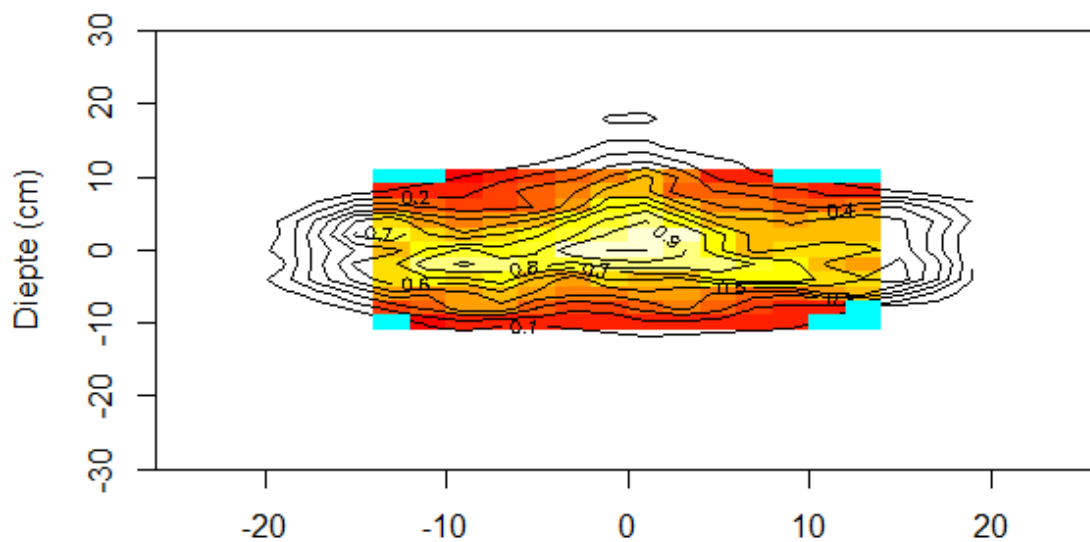
Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 3 bar, debiet = 50 %

Nigrosine



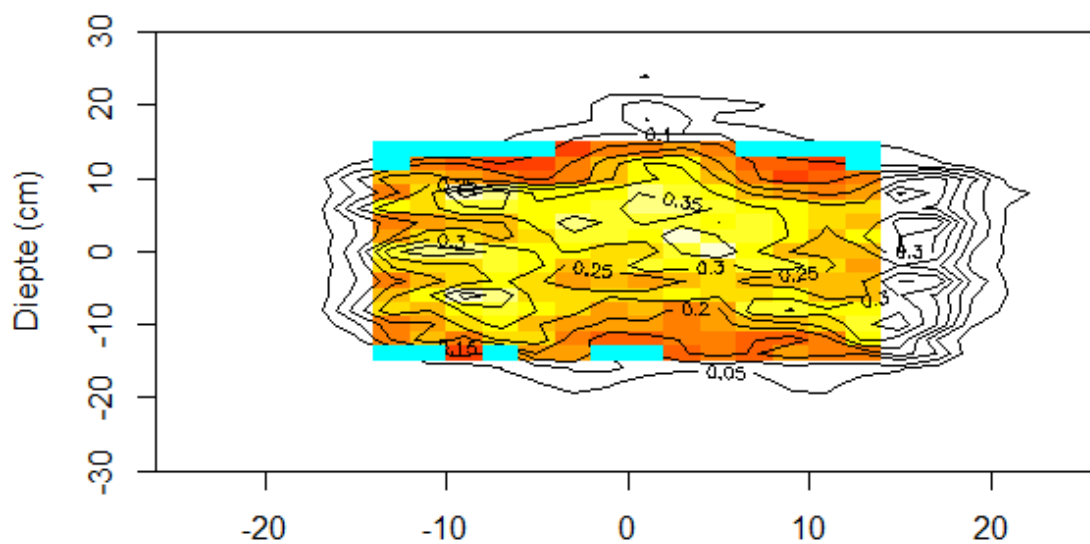
Breedte (cm)
snelheid = 1 m/s, druk = 2 bar, debiet = 50 %

Nigrosine



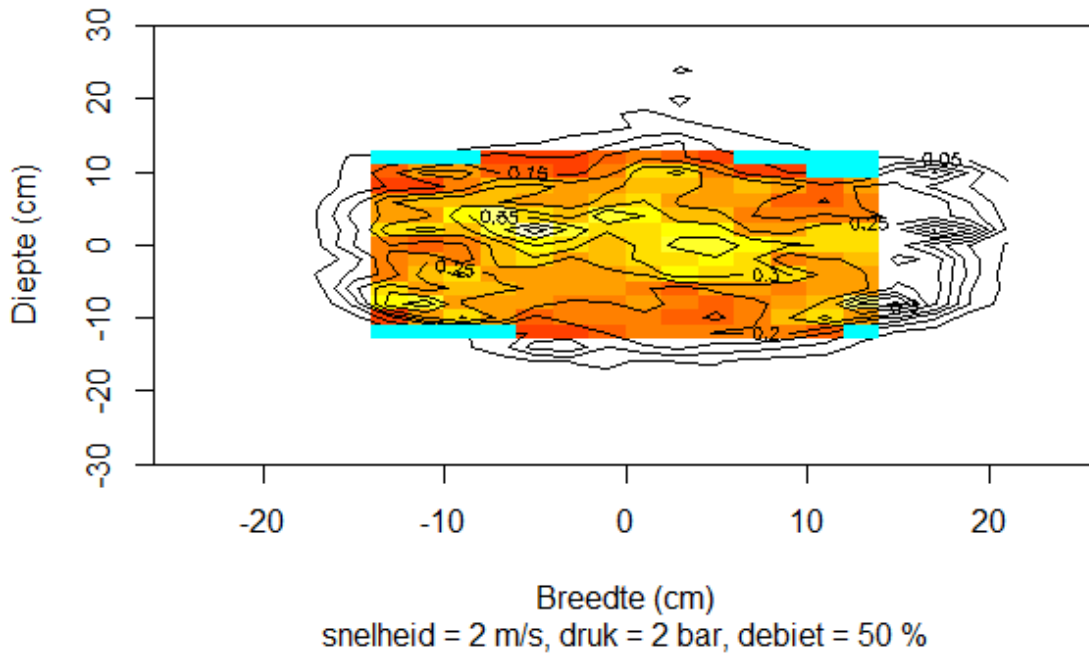
Breedte (cm)
snelheid = 1 m/s, druk = 2 bar, debiet = 50 %

Nigrosine

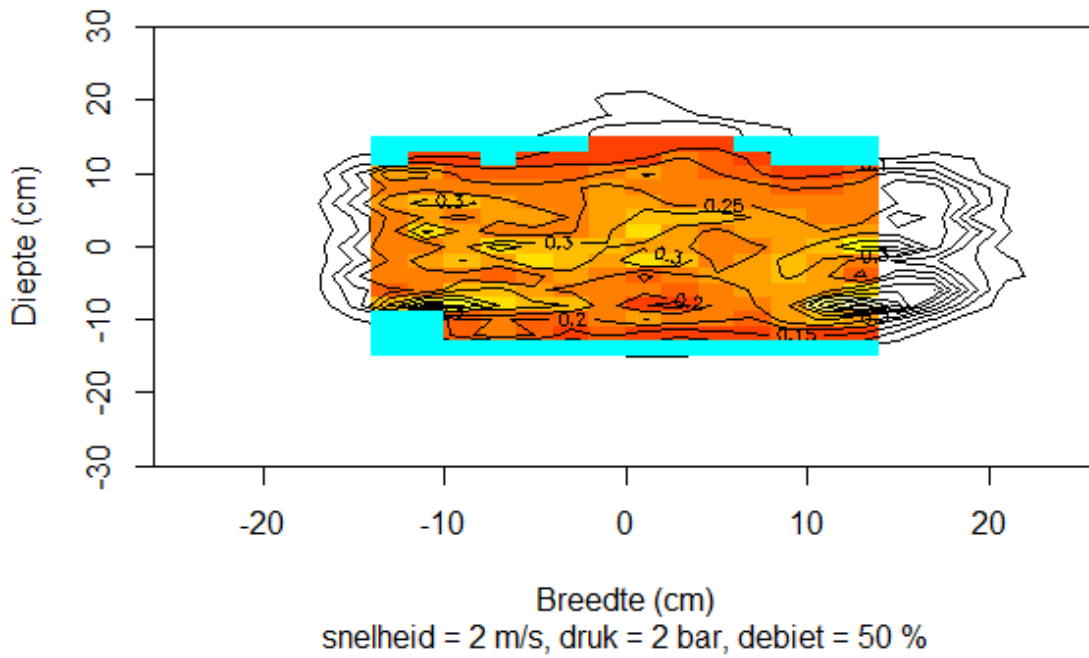


Breedte (cm)
snelheid = 2 m/s, druk = 2 bar, debiet = 50 %

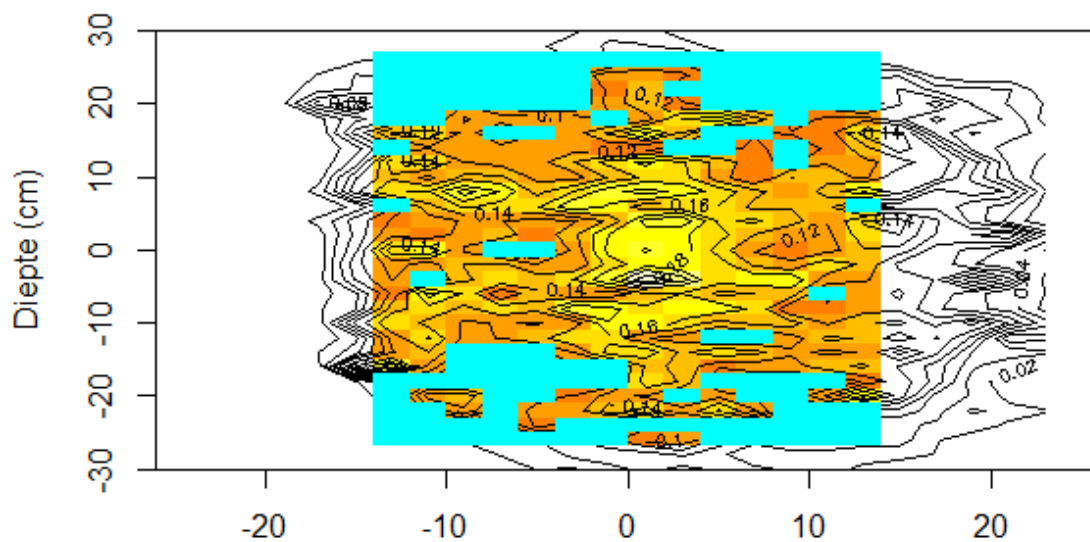
Nigrosine



Nigrosine

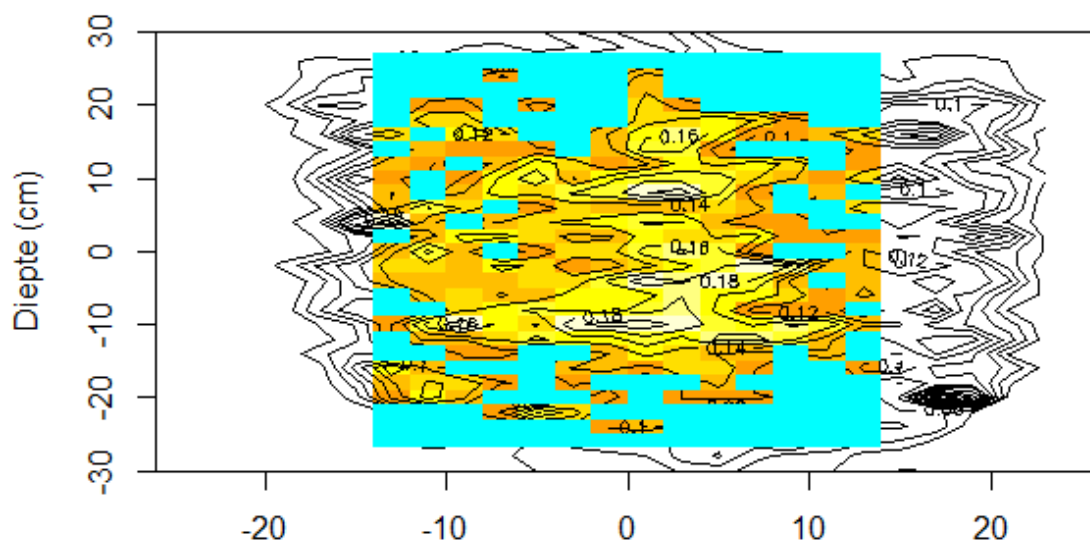


Nigrosine



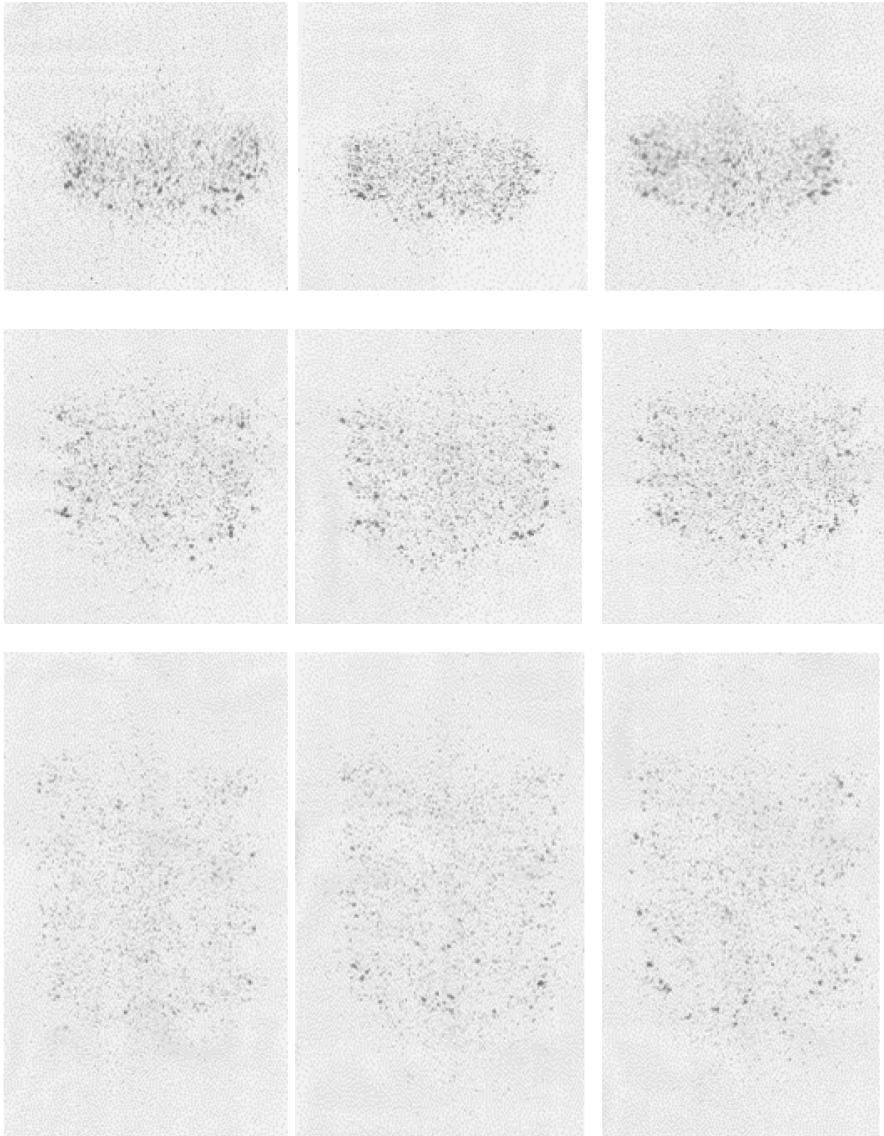
Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 2 bar, debiet = 50 %

Nigrosine

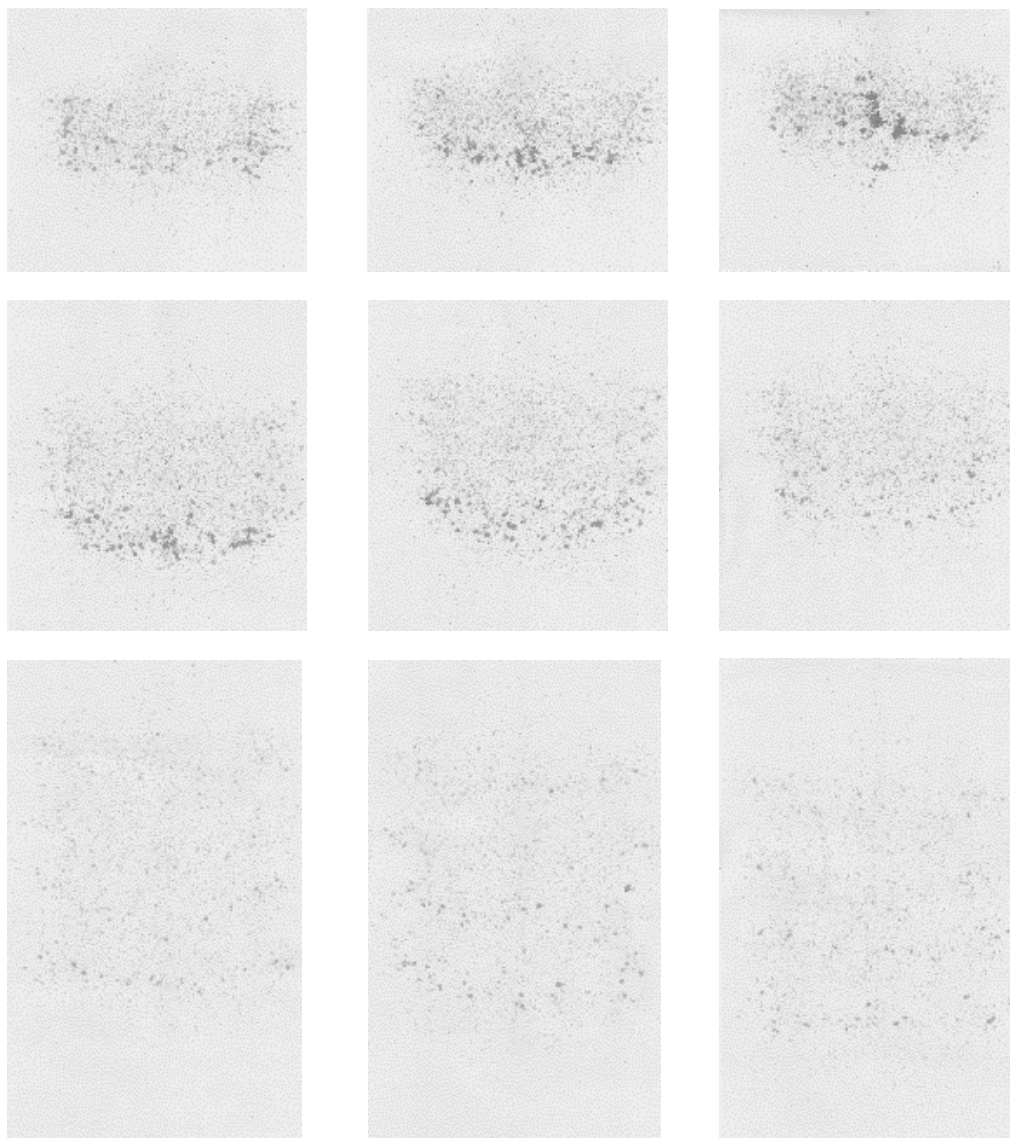


Breedte (cm)
snelheid = 4 m/s, druk = 2 bar, debiet = 50 %

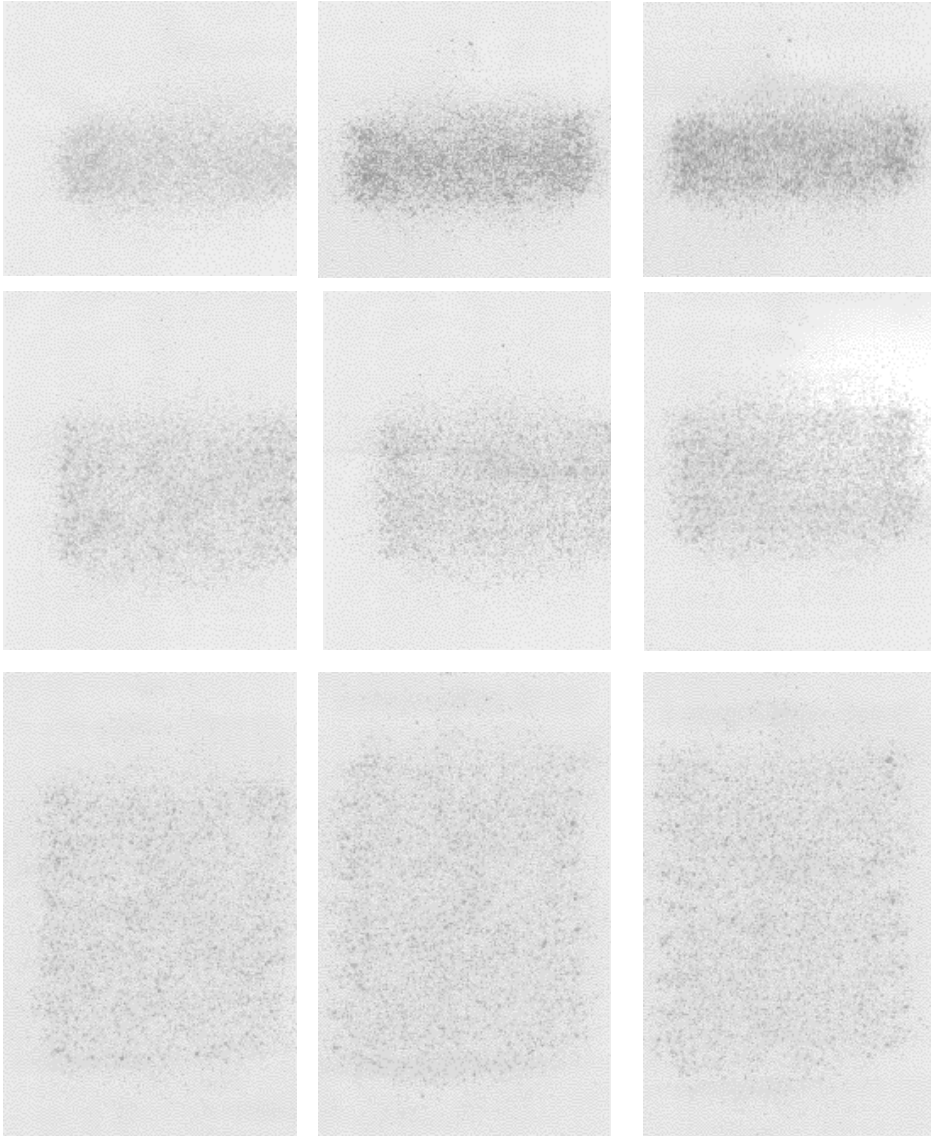
Bijlage III.



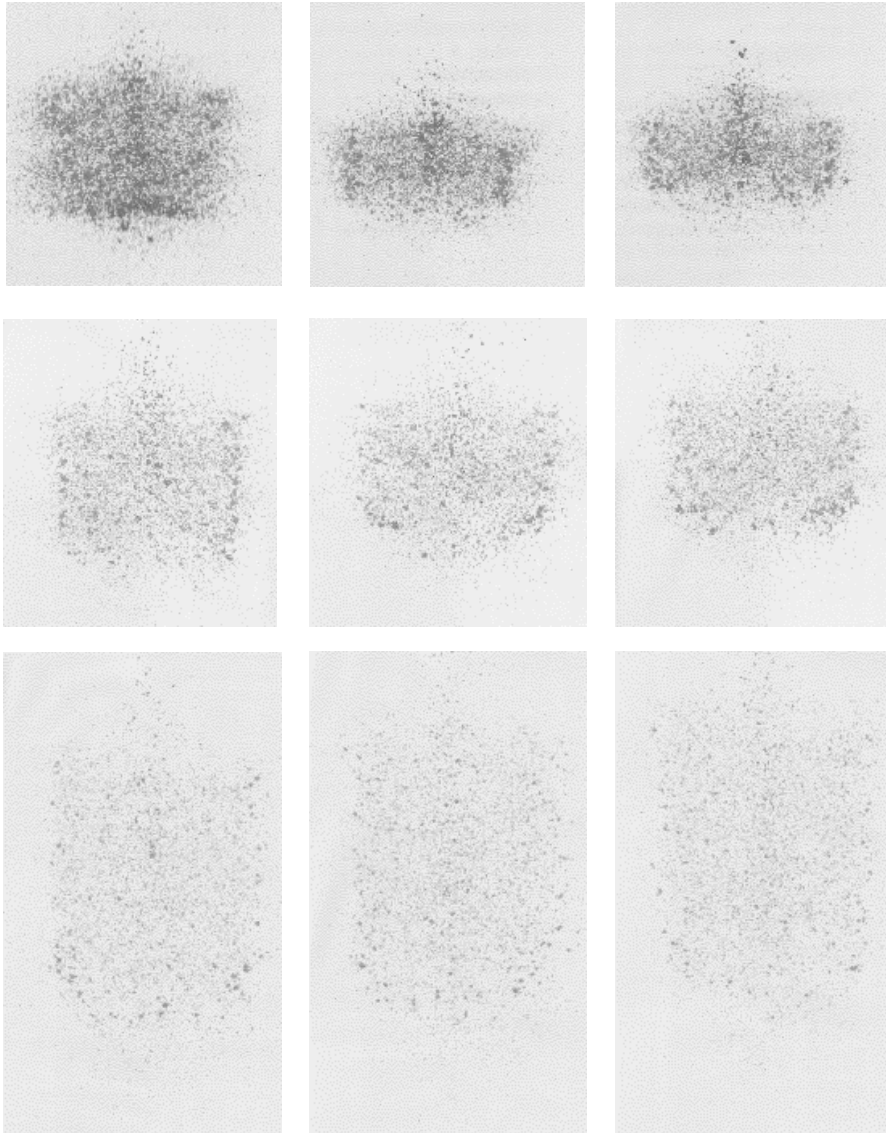
Figuur 6. Drie herhalingen (horizontaal) van Nigrosine spotsprays voor 2 bar en 20% debiet, bovenste rij is bij een snelheid van 1 m/s, middelste rij 2 m/s en onderste rij 4 m/s.



Figuur 7. Drie herhalingen (horizontaal) van Nigrosine spotsprays voor 3 bar en 20% debiet, bovenste rij is bij een snelheid van 1 m/s, middelste rij 2 m/s en onderste rij 4 m/s.



Figuur 8. Drie herhalingen (horizontaal) van Nigrosine spotsprays voor 3 bar en 50% debiet, bovenste rij is bij een snelheid van 1 m/s, middelste rij 2 m/s en onderste rij 4 m/s.



Figuur 9. Drie herhalingen (horizontaal) van Nigrosine spotsprays voor 2 bar en 50% debiet, bovenste rij is bij een snelheid van 1 m/s, middelste rij 2 m/s en onderste rij 4 m/s. De spotspray linksboven is niet gebruikt in de analyses.