

Abdrift – Reduzierende Massnahmen im Praxisversuch

Simon Schweizer¹, Peter Kauf², Heinrich Höhn¹ und Andreas Naef¹

¹Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil, 8820 Wädenswil, Schweiz

²Institut für Angewandte Simulation IAS, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, 8820 Wädenswil, Schweiz

Auskünfte: Simon Schweizer, E-Mail simon.schweizer@agroscope.admin.ch, Tel. +41 44 783 61 91



Abb. 1 | Bei jeder Sprühapplikation von Pflanzenschutzmitteln entsteht Abdrift.

Einleitung

Bei der Sprühapplikation von Pflanzenschutzmitteln (PSM) entsteht Abdrift: Wirkstoffhaltige Tröpfchen, die ausserhalb des Zielbereichs abgelagert werden. Dieser direkte Eintrag in Gewässer und andere Nichtzielflächen stellt einen wichtigen Teil der Umweltbelastung durch PSM dar (Abb.1). Verschiedene Massnahmen können Abdrift redu-

zieren und damit einen Beitrag zur angestrebten Ökologisierung der Landwirtschaft leisten – ohne einhergehende Einschränkungen für die Produktion.

Risikomindernde Massnahmen

Die Menge PSM, die ausserhalb der Kulturfläche abgelagert wird, nimmt mit der Distanz schnell ab. Das Umweltisiko kann also vermindert werden, wenn ein Sicher-

heitsabstand zur sensiblen Fläche eingehalten wird, in welchem auf die Anwendung des PSM verzichtet wird. Genauso gut kann aber auch die Abdrift an sich reduziert werden. Abdriftreduzierende Spritztechnik (Sprühgerätetyp, Düsentyp, Düsendröße, Spritzdruck, Luftunterstützung und Fahrgeschwindigkeit) oder physische Barrieren (Windschutzhecken oder Netze) leisten dies effektiv. Weitere Möglichkeiten wie z.B. einseitiges Sprühen der Randreihen oder der Zusatz von Adjuvantien wurden hier nicht berücksichtigt.

Situation in der Schweiz

Bei der Zulassung eines PSM wird das zu erwartende Umweltrisiko durch Abdrift abgeschätzt. Die Höhe des Risikos ergibt sich aus dem Verhältnis von Toxizität (Gifftigkeit) und Exposition (zu erwartende Menge). Dieses Verhältnis wird als TER-Wert (Toxicity Exposure Ratio) angegeben, ein Indikator für die Risikobewertung. Die Toxizität eines Wirkstoffs wird durch ökotoxikologische Tests mit Modellorganismen ermittelt. Für die Abschätzung der Exposition durch Abdrift werden standardisierte Depositionsfunktionen herangezogen, welche auf zahlreichen Praxismessungen basieren (Ganzelmeier *et al.* 1995; FOCUS 2001; Rautmann *et al.* 2001). Es wird unterschieden zwischen verschiedenen Kulturen und Applikationstechniken. Die wichtigsten Kategorien sind Obst, Wein und Flächenkulturen, wobei frühe und späte Kulturstadien bei den Raumkulturen Obst und Wein unterschieden werden. Bei der Abschätzung der Risiken durch Abdrift wird davon ausgegangen, dass nach guter agronomischer Praxis behandelt wird: Gesprüht wird nur bei geeigneter Witterung und mit gewartetem Gerät und die Applikationsparameter sind an die Kultur und deren Stadium angepasst (BAFU und BLW 2013).

Je nach Ergebnis der Risikoabschätzung werden Sicherheitsabstände zu Gewässern verfügt, welche die Einhaltung der TER-Grenzwerte gewährleisten. Diese Abstände können 6, 20, 50 oder 100 m betragen. Mit dem Einsatz von abdriftreduzierender Technik dürfen verfügte Sicherheitsabstände verkleinert werden (BLW 2008). Der absolute Mindestabstand zu Gewässern für alle PSM-Anwendungen beträgt in der Schweiz drei Meter gemäss ChemRRV (2005) und sechs Meter für Betriebe, die den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) erbringen.

Sicherheitsabstände zu Gewässern betreffen einen wesentlichen Anteil der produktiven Fläche der Schweizer Landwirtschaft. In den Kantonen TG, ZH, VD und VS würde ein Abstand von 100 Metern zu Oberflächengewässern mehr als 20 % aller Kulturflächen (ohne Grünland) mit Einschränkungen belegen, wie eine Abklärung der räumlichen Situation mittels Geoinformationssystem

Zusammenfassung

Bei der Sprühapplikation von Pflanzenschutzmitteln (PSM) werden Gewässer und andere benachbarte Nichtzielflächen durch direkte Abdrift belastet: Wirkstoffhaltige Tröpfchen werden verfrachtet und ausserhalb der Zielfläche abgelagert. Bei der Zulassung eines PSM wird das zu erwartende Umweltrisiko durch Abdrift abgeschätzt. Wenn nötig, werden Abstandsaufgaben zwischen sechs und 100 Meter zu Oberflächengewässern verfügt (Sicherheitsabstand mit Einsatzverbot). Wird die Abdrift mit geeigneten Massnahmen reduziert, dürfen diese Abstände verkleinert werden. Vier abdriftreduzierende Massnahmen wurden unter Praxisbedingungen der Schweizer Apfelproduktion geprüft. Hecke und Injektordüsen reduzierten die Abdrift je um rund 75 %, ein Hagelnetz über der Obstanlage um rund 65 %. Ein grobmaschiges Netz als Windschutz am Feldrand wirkte schlecht im Bereich von 20 % Abdriftreduktion.

(GIS) ergab (Publikation in Vorbereitung). Es ist deshalb von grossem Interesse, die Abdrift an sich zu vermindern, um die Abstände zu verkleinern.

Die Schweizerische Regelung zur Risikoverminderung im Pflanzenschutz wird aktuell überarbeitet. Für die Abdrift wird ein kumulatives System diskutiert, welches eine Verkleinerung des verfügten Sicherheitsabstandes durch die Kombination verschiedener abdriftreduzierender Massnahmen ermöglichen soll.

Ziel des Versuchs

Es wurden Abdrift-Reduktionsfaktoren für das oben erwähnte System ermittelt. D.h., jede der untersuchten Massnahmen wurde in verschiedenen Kombinationen getestet, um einen mittleren Reduktionsfaktor angeben zu können.

Der Versuch wurde praxisnah geplant und durchgeführt. Als Modellkultur wurde Obstbau gewählt. Trotz seiner beschränkten Gesamtfläche ist Obstbau bezüglich Abdrift wichtig, einerseits wegen dem intensiven PSM-Einsatz, andererseits weil die Abdrift in Raumkulturen stärker ist als im Feldbau.

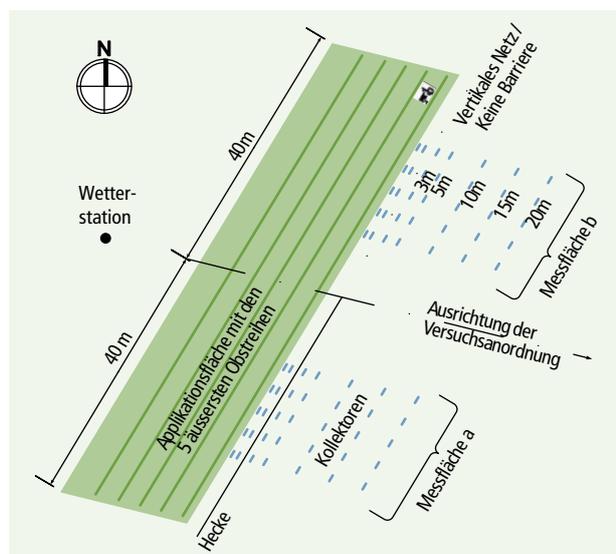


Abb. 2 | Versuchsaufbau, massstäbliche Darstellung.

Material und Methoden

Versuchsanordnung

Die Abdrift-Messungen wurden vom 30. Oktober bis am 16. November 2012 auf dem Obstbau-Versuchsbetrieb des BBZ Arenenberg in Göttingen durchgeführt, in einer Apfelparzelle mit Golden Delicious, Arlet und Idared, alles Spindelbäume auf M9 vf, Pflanzdistanz 3,5 × 1,1 m, Baumhöhe 2,80 m (Höhe Hagelnetz), mittlerer Baumdurchmesser 1,25 m, Pflanzjahr 1998. Die halbe Breite der Parzelle wurde durch eine Windschutzhecke begrenzt (Abb. 2, Messfläche a), die andere Hälfte konnte wahlweise frei bleiben oder mit einem vertikalen Netz abgeschlossen werden (Messfläche b).



Abb. 3a | Depositionsmessung mit Filterstreifen. Im Vordergrund die abdriftreduzierende Massnahme «Netz am Feldrand», im Hintergrund die Windschutzhecke.

Die Abdrift wurde in Zusammenarbeit mit der Gruppe «Global Application Technology» der Firma Syngenta ermittelt, mittels Tracertechnologie. D.h., an Stelle eines PSM wurde eine Tracersubstanz (fluoreszierender Farbstoff) gesprüht und ausgewertet. Die Deposition des Tracers wurde in den Abständen 0, 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 50 und 75 m vom Feldrand gemessen. Pro Abstand und Messung wurden fünf Kollektoren aus Filterpapier mit einer Fläche von je 250 cm² ausgelegt (Abb. 2, Abb. 3a). Bei jedem Applikationsdurchgang wurden die äussersten fünf Obstreihen beidseitig mit einem praxisüblichen Sprühgerät behandelt: Holder NI800 mit Gebläse OVS50, beidseitig je sieben Düsen Albuz ATR80 gelb, Spritzdruck 9,5 bar, Fahrgeschwindigkeit 6,2 km/h, Gebläseleistung insgesamt 13 000 m³/h, Brühmenge 400 l/ha mit 180 g Tracerfarbstoff Helios SC500 (Syngenta). Die Deposition auf den Kollektoren (Abb. 3b) wurde in den Labors von Syngenta fluorimetrisch quantifiziert.

Es wurden vier abdriftreduzierende Massnahmen getestet: 1. Injektordüsen (Lechler ID 90–015 grün mit 8,5 bar), 2. Hagelnetz über der Obstanlage (Maschenweite 3,3 × 8 mm, optische Dichte 15 %), 3. Windschutzhecke (Hagebuche, 4,4 m hoch, 85 cm breit, optische Dichte 82 %) und 4. vertikales Netz am Feldrand (3,8 m hoch, gleiches Netz wie über der Anlage). Die zu prüfenden Massnahmen wurden in die Kategorien (Faktoren) «Düsenteknologie», «physische Barriere über dem Feld» und «physische Barriere am Feldrand» gegliedert und in allen sinnvollen Varianten kombiniert. Dies ergab zwölf verschiedene Kombinationen (Verfahren T1 bis T12, Abb. 4). Jedes Verfahren wurde mindestens drei Mal wiederholt.

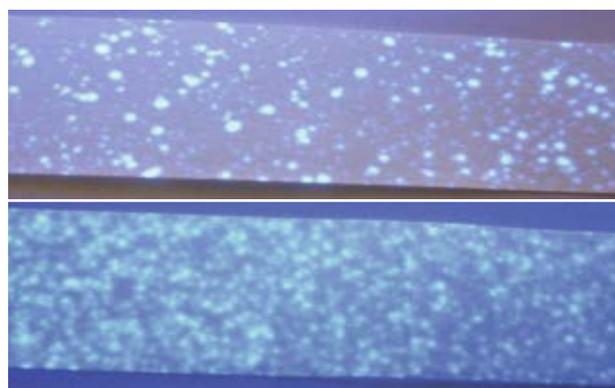


Abb. 3b | Kollektoren unter UV-Licht. Oben: Injektordüse. Unten: Hohlkegeldüse. Beide in 5 m Abstand vom Feldrand. (Foto: Stefan Wolf, Syngenta)

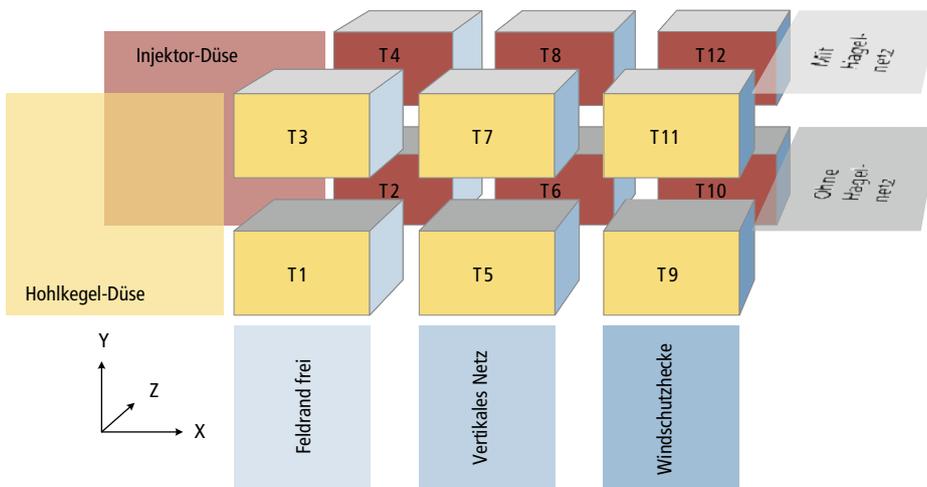


Abb. 4 | Darstellung aller Verfahren als dreidimensionale Matrix. Jede Box steht für ein Verfahren (T: Treatment), jede Ebene steht für eine Faktorstufe. X: Physische Barriere am Feldrand, Y: Physische Barriere über dem Feld, Z: Düsentechologie.

Die Wetterbedingungen waren während der ganzen Messperiode sehr wechselhaft. Während jedem Messdurchgang (Applikation inkl. 8 Min. Wartezeit für die vollständige Deposition) wurden alle 30 s Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet. Für die Auswertung wurden deren Mittelwerte verwendet (vektorielle Mittel für Windgeschwindigkeit und -richtung). Die Windrichtung wurde als Abweichung zur Ausrichtung der Versuchsanordnung berechnet. Für die Auswertung wurden alle Wiederholungen mit Abweichung der Windrichtung $> 40^\circ$ und Windgeschwindigkeiten $< 0,5$ m/s ausgeschlossen (18 von 56). Die verwendeten Messwerte wurden bei Windrichtungen zwischen $-39,6$ und $20,3^\circ$, bei Windgeschwindigkeiten zwischen $0,6$ und $2,8$ m/s, bei Temperaturen zwischen 3 und $10,5^\circ\text{C}$ und bei relativer Luftfeuchtigkeit zwischen $59,3$ und 100% erhoben.

Berechnung der Abdrift-Reduktionswerte mit nicht-parametrischem Bootstrap

Abdrift-Reduktionsfaktoren werden nach ISO 22369–2 (2010) durch den Vergleich eines Kandidaten mit einem Referenzverfahren ermittelt. Dieses Experiment hatte jedoch nicht das Ziel, eine einzelne Technologie mit einer gegebenen Referenz zu vergleichen. Es wurden Reduktionsfaktoren für mehrere Massnahmen gesucht, welche in Kombination eingesetzt werden können. Üblicherweise würde für ein solches mehrfaktorielles Ver-

suchsdesign ein verallgemeinertes multi-faktorielles Regressionsmodell verwendet. Dies war hier nicht möglich, denn die Beeinflussung der Messwerte durch die Wetterbedingungen konnte nicht quantifiziert werden. Keiner der geprüften Ansätze (lineare und nicht-lineare Modelle) lieferte zufriedenstellende Ergebnisse.

Alternativ wurde ein zweistufiges Verfahren entwickelt: Im ersten Schritt wurden Verfahrens-Paare verglichen, welche sich nur in einer bestimmten Massnahme unterschieden. Für die Düsen z.B. standen sechs solcher Paarungen zur Verfügung (Abb. 4 vordere Ebene \leftrightarrow hintere Ebene). Für jedes dieser Vergleichspaare wurde ein Reduktionsfaktor berechnet, wobei nur Depositionswerte aus Messungen mit ähnlichen Windbedingungen verglichen wurden (Ähnlichkeitsannahme: Unterschiede der Windrichtungen $\leq 30^\circ$, der Windgeschwindigkeiten $\leq 0,5$ m/s). Nach Anwendung der Ähnlichkeitskriterien für die Windverhältnisse standen für diese paarweisen Vergleiche jeweils zehn bis 30 Messwerte je Abstand vom Feldrand zur Verfügung. Im zweiten Schritt wurden die individuellen Reduktionswirkungen dieser Paarungen zusammengeführt, um die mittlere Abdriftreduktion für die Massnahme angeben zu können. Für die Berechnung der Abdrift-Reduktionsfaktoren mit ihren realistischen Variabilitäten wurde ein nicht-parametrisches Bootstrap Verfahren verwendet (Efron und Tibshirani 1998; Davison und Hinkley 2003).

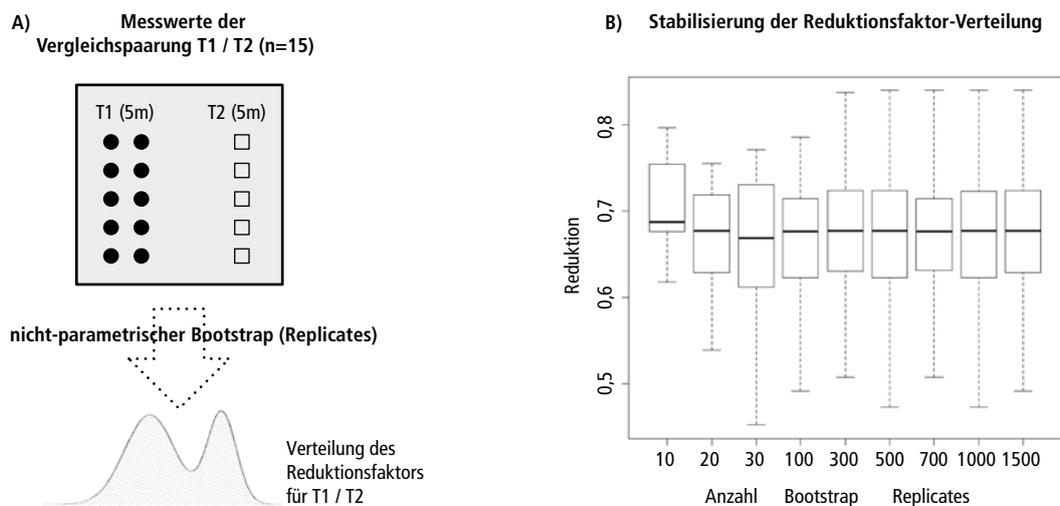


Abb. 5 | A) Aus den Stichproben wurde eine Verteilung des Reduktionsfaktors bestimmt (Bsp. Düsen, Vergleichspaarung T1 / T2, Abstand 5m).

B) Bei ca. 500 Replicates stabilisierte sich die Verteilung für den Reduktionsfaktor.

Im nichtparametrischen Bootstrap wurde aus den verfügbaren Messwerten einer Vergleichspaarung eine realistische Verteilung des Reduktionsfaktors simuliert (Abb. 5a). Dafür wurden je Variante und Abstand zufällig Messwerte gezogen (mit Zurücklegen). Aus dem Vergleich der Mediane der beiden Ziehungen ergab sich dann jeweils ein Reduktionsfaktor. Diese Ziehungen mit Medianvergleichen (Replicates) wurden solange wiederholt, bis sich die Verteilung des Reduktionsfaktors stabilisierte (Abb. 5b). Statistisch entspricht dies einem Sampling von Stichproben aus nicht-parametrischen Verteilungen zur Bestimmung der Verteilung einer Zielgrösse (parametrische Methoden sind hier nicht sinnvoll, da z.B. eine Normalverteilung aufgrund kleiner Samplezahlen nicht plausibilisiert werden kann).

Für jedes Vergleichspaar, das für die Bestimmung einer Massnahme zur Verfügung stand, wurde eine solche Reduktionsfaktor-Verteilung ermittelt. Diese Verteilungen wurden dann aggregiert und ergaben so das Endresultat: Den Reduktionsfaktor für eine bestimmte Massnahme mit seiner Variabilität, unter Berücksichtigung der verschiedenen Massnahmen-Kombinationen und Wetterverhältnisse.

Resultate

Die Plausibilität der Güttinger Messungen wurde im Vergleich mit den Depositionsfunktionen (90. Perzentile und Mediane) nach Rautmann (Rautmann *et al.*

2001; Rautmann 2003) bestätigt. Die Depositionen aus Verfahren T1 (Abb. 4) entsprechen weitgehend diesen Funktionen.

Die Auswertung wurde auf die Distanzen zwischen drei und 20 Metern beschränkt, korrespondierend mit ISO 22866 (2005), wonach die Messdistanz höchstens halb so weit sein darf, wie die Applikationsfläche breit ist (hier 40 m je Messfläche). Die mittels nichtparametrischen Bootstraps ermittelten Abdrift-Reduktionswerte für die vier geprüften Massnahmen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Diskussion

Abdriftreduzierende Massnahmen

Die eingesetzte Injektordüse reduzierte die Drift um rund 75 %, was der Einschätzung nach Van de Zande *et al.* (2012) für die gleiche Düse entspricht. Deren Resultate wurden anhand einer Untersuchung des Tropfengrössenspektrums (Volumenanteil von Tropfen < 100 µm) erstellt und per Feldmessung verifiziert.

Ein Hagelnetz über der Obstanlage reduziert nach Herbst *et al.* (2012) die Abdrift um mindestens 50 %, je nach Düsentyp auch bis 75 %. Auch dies wurde in Güttingen bestätigt, indem das Hagelnetz eine mittlere Reduktion (d.h., sowohl die Verfahren mit Injektordüse wie auch jene mit Hohlkegeldüse wurden berücksichtigt) von 67 bis 84 % bewirkte.

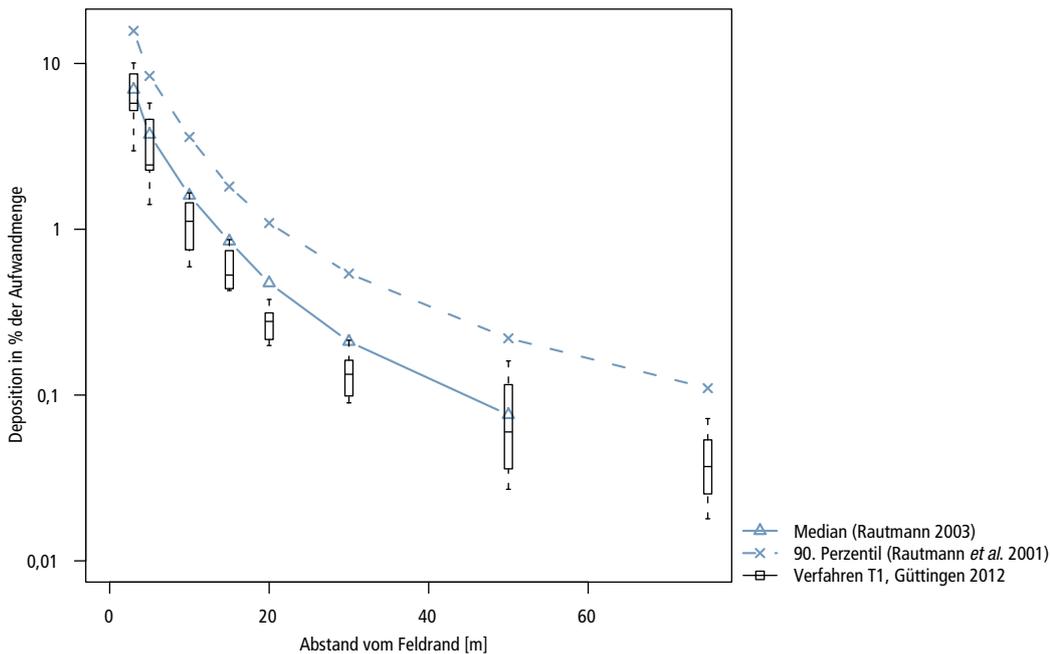


Abb. 6 | Vergleich der Depositionswerte in Güttingen (Verfahren T1) mit den Depositionsfunktionen (90. Perzentile und Mediane) nach Rautmann (Rautmann et al. 2001; Rautmann 2003).

Für Hecken werden Reduktionswerte von 10 % im Winter (Wenneker und Van de Zande 2008) bis zu 90 % im vollen Laub (Ucar und Hall 2001) angegeben. Nach Richardson et al. (2004) reduziert eine Hecke die Abdrift am besten in ihrer nächsten Nähe. Je weiter weg, desto kleiner erscheint ihre Reduktionswirkung, was die vorliegenden Ergebnisse tendenziell bestätigen. Kriterien für die Beurteilung einer Hecke bezüglich ihrer abdriftreduzierenden Eigenschaft sind ihre Höhe (höher als die behandelte Kultur), die Dichte (nicht zu dünn, nicht zu dicht) und die Art: Es ist wichtig, dass die Hecke früh Laub entwickelt. Wenneker und Van de Zande (2008) empfehlen Ahorn, Holunder, Weissdorn oder Hagebuche. Die Hagebuchenhecke in Güttingen hatte eine optische Dichte von 82 % und zeigte eine vergleichsweise gute Abdriftreduktion mit Medianwerten zwischen 78 und 95 %.

Die Verfahren, welche das vertikale Netz am Feldrand als Faktor integrierten, wurden unter besonders ungünstigen Windbedingungen durchgeführt. Nach Anwendung der Ähnlichkeitskriterien (s.o.) konnten nur 35 Messwerte je Abstand verwendet werden. Wenige Messwerte mit grossen Variabilitäten führten zu enormen Streuungen der Resultate. Dass für das vertikale Netz z.T. negative Reduktionswerte erscheinen, ist vor

diesem Hintergrund zu sehen. Trotzdem kann festgehalten werden, dass mit dem Einsatz des vertikalen Netzes kaum eine Abdriftreduktion erzielt werden konnte, obwohl das gleiche Netz verwendet wurde wie über der Obstanlage. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob mit einem anderen Material – z.B. mit einem feinmaschigen Insektenschutznetz oder mit einem Windschutzfließ – bessere Effekte erzielt werden können.

Interpretation der Resultate

Die in Tabelle 1 angegebenen Reduktionsfaktoren liegen im Rahmen der Resultate verschiedener Europäischer Institutionen, obwohl in diesem Versuch die Massnahmen in unterschiedlichen Kombinationen evaluiert wurden. Eine Regelung zur Verkleinerung von Sicherheitsabständen, welche die Reduktionsfaktoren kumulativ interpretiert, ist also möglich. Aus Sicht der Praxis ist dies zu wünschen, denn so bleibt den Produzenten grösstmögliche Freiheit in der Wahl der Massnahmen. Die Streuungen der Reduktionswerte sind jedoch relativ gross; die Quartile liegen z.T. weit vom Median entfernt (Tabelle 1). Dafür verantwortlich ist zu weiten Teilen der Einbezug dieser verschiedenen Massnahmen-Kombinationen, aber auch die praxisgerechte Berücksichtigung der unterschiedlichen Wetterbedin-

Tab. 1 | Mediane und Quartile der Abdriftreduktion in %, für die vier geprüften Massnahmen je Abstand zum Feldrand. Resultate der Berechnung aus dem mehrfaktoriellen Versuchsdesign mittels nichtparametrischem Bootstrap. n: Anzahl Messwerte je Abstand.

Mediane und Quartile der Abdriftreduktion [%]	3 m		5 m		10 m		15 m		20 m	
	Median	Q1	Median	Q1	Median	Q1	Median	Q1	Median	Q1
Injektordüsen n=105	80	86	81	87	79	85	83	89	76	88
		74		74		67		45		33
Hagelnetz n=105	67	78	67	87	76	96	84	92	79	94
		49		56		64		67		57
Windschutzhecke n=80	95	98	84	94	85	98	86	96	78	92
		89		73		62		66		48
Vertikales Netz n=35	21	78	29	70	19	55	7	35	-44	-13
		-8		8		-36		-22		-73

gungen. Dies sollte bei der Ausarbeitung einer Regelung zur Verkleinerung der Sicherheitsabstände berücksichtigt werden. Insbesondere bei der Kombination mehrerer Massnahmen, welche zusammen eine sehr grosse Abdriftreduktion ergeben würden, ist Vorsicht angebracht. Herbst *et al.* (2012) hielten in diesem Zusammenhang fest, dass in Obstanlagen nie eine Abdriftreduktion von 99 % gemessen wurde, mit Ausnahme beim Einsatz von Tunnelsprühgeräten.

Die Reduktionswerte konnten für drei bis 20 Meter Abstand vom Feldrand berechnet werden. Aus diesen Resultaten kann nicht ohne Weiteres auf die Deposition in grösseren Distanzen geschlossen werden: Rautmann *et al.* (2001) zeigten, dass in Raumkulturen die Funktion Deposition pro Abstand nicht kontinuierlich extrapoliert werden kann. Es ist insbesondere zu erwarten, dass beim Einsatz von physischen Barrieren am Feldrand die Abdriftreduktion mit zunehmender Distanz abnimmt (vgl. Richardson *et al.* 2004).

Schlussfolgerungen

Die Wirkungen der abdriftmindernden Massnahmen im Güttinger Versuch entsprechen weitgehend den Ergebnissen aus anderen Europäischen Versuchen.

Eine Regelung für die Verkleinerung von Sicherheitsabständen, welche abdriftreduzierende Massnahmen frei kombinierbar einsetzt, ist aufgrund der Resultate möglich. Die grossen Streuungen der Reduktionsfaktoren sind jedoch bei der Verwendung der Werte zu berücksichtigen. Sie zeigen die Variabilität der Abdriftreduktion unter Praxisbedingungen.

Mit dem nichtparametrischen Bootstrap im mehrfaktoriellen Versuchsdesign wurde eine Methode gefunden, welche die Bewertung einer abdriftreduzierenden Massnahme in unterschiedlichen Kombinationen und bei verschiedenen Wetterbedingungen ermöglichte. ■

Riassunto

Misure per ridurre la deriva in una prova nella pratica

Nell'applicazione mediante irroratrice di prodotti fitosanitari le acque superficiali e altre superficie limitrofe non interessate sono contaminate dalla deriva: goccioline contenenti sostanze attive vengono trasportate e depositate al di fuori della zona di destinazione. Nel corso del processo di omologazione di un prodotto fitosanitario l'atteso rischio ambientale è stimato attraverso la deriva. Se necessario si stabiliscono delle zone cuscinetto tra 6 e 100 m di distanza dalle acque superficiali (distanza di sicurezza con divieto d'applicazione). Queste distanze possono essere ridotte, se la deriva è ridotta mediante delle misure idonee. Quattro misure per ridurre la deriva sono state testate alle condizioni pratiche nella produzione di mele svizzere. Sia siepi che ugelli a iniezione hanno ridotto la deriva di ca. il 75 %, la posa di una rete antigrandine a coprire il frutteto di ca. il 65 %, mentre una rete a maglie larghe posata come frangivento a bordo del campo ha ottenuto solamente il 20 % di riduzione.

Literatur

- BAFU & BLW, 2013. Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug 1312. 58 S.
- BLW, 2008. Weisungen betreffend der Sicherheitsabstände, die bei Oberflächengewässern einzuhalten sind, und der Massnahmen, die eine Reduktion dieser Abstände erlauben. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern.
- ChemRRV, 2005. Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV). 814.81. Stand am 1. Juni 2013.
- Davison A. C. & Hinkley D. V., 2003. Bootstrap methods and their application. Cambridge University Press, Cambridge. 582 S.
- Efron B. & Tibshirani R. J., 1998. An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida. 436 S.
- FOCUS, 2001. FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC. Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2. 245 S.
- Ganzelmeier H., Rautmann D. et al., 1995. Untersuchungen zur Abdrift von Pflanzenschutzmitteln. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 304.
- Herbst, A., Osteroth, H.-J., et al., 2012. Test procedure for drift reducing equipment. Fourth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers, SPISE 4, Lana (South Tirol), *Julius-Kühn-Archiv* 439, 234–238.

Summary

Spraydrift – mitigation measures in field trials

Drug-containing droplets from the application of plant protection products (PPP) can be transported and deposited outside of the target area, which is called direct spray drift and affects adjacent waterbodies and other non-target areas. The environmental risk expected through spray drift of PPP is estimated as part of the authorization-process. If necessary, spray free buffer zones of 6 to 100 m must be applied towards surface waters. If drift is reduced by appropriate measures, the width of these buffer zones could be diminished. Four drift reduction measures have been tested under practical conditions of Swiss apple production. Windbreak hedges or injector nozzles reduced drift by approx. 75 % each, a hail net on the top of the orchard by approx. 65 %. A coarse-mesh net as a windbreak at the edge of the field showed an effect of about 20 % drift reduction only.

Key words: risk mitigation measures, spray drift, nozzles, windbreaks, hail net, vertical net, buffer zones, plant protection products, orchard, bootstrap, tracer.

- ISO, 2005. Equipment for crop protection – Methods for field measurement of spray drift. Ref. Nr. ISO 22866:2005(E).
- ISO, 2010. Crop protection equipment – Drift classification of spraying equipment. Part 2: Classification of field crop sprayers by field measurements. Ref. Nr. ISO 22369-2:2010(E).
- Rautmann D., 2003. Drift reducing Sprayers – Testing and Listing in Germany. ASAE Annual International Meeting 27-30 July, Las Vegas, Nevada (USA).
- Rautmann D., Strelke M. et al., 2001. New basic drift values in the authorization procedure for plant protection products. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem* 383, 133–141.
- Richardson G. M., Walklate P. J. et al., 2004. Spray drift from apple orchards with deciduous windbreaks. *Aspects of Applied Biology* 71, 149–156.
- Ucar T. & Hall F. R., 2001. Windbreaks as a pesticide drift mitigation strategy: a review. *Pest Management Science* 57 (8), 663–675.
- Van de Zande J. C., Wencker M. et al., 2012. Nozzle classification for drift reduction in orchard spraying. *Aspects of Applied Biology* 114, 253–261.
- Wencker M. & Van de Zande, J. C., 2008. Spray drift reducing effects of natural windbreaks in orchard spraying. In: International advances in pesticide application: Robinson College, Cambridge, UK, 9–11 January 2008 (Ed. Alexander, L. S.). Association of Applied Biologists, Wellesbourne, 25–32.