

Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln

Weed control by direct injection of plant protection products according to specific situations

Mathias Krebs¹, Dirk Rautmann¹, Henning Nordmeyer^{2*}

¹Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz,
Messweg 11/12, 38104 Braunschweig,

²Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,
Messweg 11/12, 38104 Braunschweig

*Korrespondierender Autor, henning.nordmeyer@jki.bund.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.032

Zusammenfassung

Precision Farming ermöglicht im Ackerbau eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung des Pflanzenbestandes. Ziel des Pflanzenschutzes ist es, dabei Pflanzenschutzmittel situationsgerecht zu applizieren. Im Rahmen eines Projektes der Innovationsförderung wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung ohne Verzögerungszeiten entwickelt und unter Labor- und Praxisbedingungen getestet. Das Feldspritzgerät verfügt über drei separate Düsenleitungen mit je einem Direkteinspeisungssystem. Um Verzögerungszeiten zu vermeiden werden die Düsenleitungen vorgeladen. Erste Ergebnisse aus Prüfstandsmessungen und Feldversuchen zur Unkrautbekämpfung zeigen eine hohe Genauigkeit im Arbeitsbereich der ausgewählten Dosierpumpen. Die Feldversuche zeigten, dass mit dem neu entwickelten Feldspritzgerät zur Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln verzögerungsfrei mit bis zu drei verschiedenen Herbiziden jeweils teilflächenspezifisch gearbeitet werden kann. Feldversuche zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung im Winterweizen belegen die Anwendbarkeit des Systems unter Praxisbedingungen und ermöglichen eine zielgenaue Applikation verschiedener Herbizide. Durch die Teilflächenbehandlung konnten Herbizide und damit auch Kosten eingespart werden. Eine Ertragsminderung gegenüber den konventionell ganzflächig behandelten Versuchsflächen konnte nicht festgestellt werden. Eine Wirkungsminderung durch Wirkstoffabwaschung von Zielflächen, wenn gleichzeitig alle drei Düsenleitungen mit insgesamt bis zu 1050 l/ha Wasseraufwandmenge genutzt werden, konnte nicht nachgewiesen werden. Bei hohen Wasseraufwandmengen trat die Wirkung lediglich verzögert ein. Insgesamt hat sich in ersten Versuchen das neu entwickelte Direkteinspeisungssystem als felddauglich erwiesen. Damit kann die Unkrautbekämpfung situationsgerechter erfolgen, wodurch Herbizide eingespart und Umweltbelastungen reduziert werden können.

Stichwörter: Direkteinspeisung, Herbizideinsparung, Precision Farming, situationsgerechte Unkrautbekämpfung, teilflächenspezifische Anwendung

Abstract

Precision Farming in agriculture allows a site-specific management of the crop. The aim of plant protection is to apply plant protection products (PPP) according to the site specific requirements on the field. Within the context of a research program to promote innovation, a sprayer with direct injection of plant protection products was developed. The direct injection offers site specific spraying of different individual PPP in a single pass. The sprayer prototype is equipped with a special spray boom combining three nozzle lines. In order to prevent delay times, the nozzle lines are preloaded before spraying. First results for weed control from test stand measurements and field trials showed that the injection pumps work with high accuracy. The prototype can be used without delay times site specific with up to three different herbicides. Field trials for site-specific weed control in winter wheat demonstrate the applicability of the system under practical conditions. By treatment of subareas herbicides and therefore costs could be saved. A reduction in yield compared with the conventionally treated field areas could not be ascertained. Also an efficacy reduction through washout of active ingredient from target surfaces due to simultaneous use of all three nozzle lines with up to 1050 l/ha application rate could not be detected. At high water spray rates, the efficacy effect occurs delayed. Overall, the newly developed direct injection system proved fieldability during the first tests. So weed control can be carried out situation-responsive, which can save herbicides and environmental impacts are reduced.

Keywords: Direct injection, herbicide saving, Precision Farming, site-specific application, situation-based weed control

Einleitung

Durch die Methoden des Precision Farming im Ackerbau wird eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung des Pflanzenbestandes möglich. Im Bereich des Pflanzenschutzes sind z.B. die GPS-basierte automatische Teilbreitenschaltung für eine Reduzierung von Doppelbehandlungen sowie die computergesteuerte Anpassung der Aufwandmengen als praxisreife Technologien zu nennen. Durch Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln (PSM) kann bei heterogenen Schaderregervorkommen, wenn in der Teilfläche die Schadensschwelle unterschritten wird und damit keine Applikation indiziert ist, der Verbrauch an PSM reduziert werden, ohne dass Ertragsdepressionen zu erwarten sind. Die Wirtschaftlichkeit des Pflanzenbaus wird durch die Einsparung von PSM gesteigert und die Belastung der Umwelt reduziert (WARTENBERG, 2000). Um Feldüberfahrten einzusparen werden bisher üblicherweise Tankmischungen mit mehreren PSM eingesetzt, was eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Pflanzenschutzmittel unmöglich macht. Eine Lösung dieses Problems bieten Feldspritzgeräte mit Direkteinspeisung der PSM. Die Idee der Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln anstelle der Verwendung praxisüblicher Tankmischungen ist schon über 30 Jahre alt. Ein erstes Gerät wurde bereits 1989 von der Firma Ciba-Geigy in Zusammenarbeit mit dem Dosierpumpenhersteller MSR vorgestellt (ANONYMUS, 1989). Die Vorteile der Direkteinspeisung sind zum einen, dass keine Restmengen an Spritzflüssigkeit entstehen, da sich nur klares Wasser im Tank befindet und ein Mischen von PSM und Wasser erst zur Applikation kurz vor der Düse stattfindet. Ein weiterer entscheidender Vorteil ist, dass durch die Direkteinspeisung eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Pflanzenschutzmittel mit nur einer Überfahrt möglich wird. Dies kann zwar auch mit Mehrkammerspritzgeräten (jedes Mittel wird in einer eigenen Kammer angemischt) erreicht werden (GERHARDS und OEBEL, 2006), allerdings bleibt hier das Restmengenproblem ungelöst und die erzielbare Flächenleistung verringert sich. Bisher entwickelte Direkteinspeisesysteme konnten sich in der Praxis nicht durchsetzen, weil lange Verzögerungszeiten bei der Dosierung auftraten. Wurde ein Pflanzenschutzmittel per Direkteinspeisung zentral in den Wasserstrom hinzu dosiert, dauerte es zu lange, bis sich am Düsenausgang die gewünschte Sollkonzentration einstellte. VONDRICKA und SCHULZE-LAMMERS (2009) sprechen bei der zentralen Einspeisung in die Düsenleitung von einer Verzögerung von mehr als 20 Sekunden, was bei einer Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h einer Wegstrecke von 44 m entspricht. Weitere Probleme betrafen die Dosiergenauigkeit in Abhängigkeit von den rheologischen Eigenschaften (Elastizität, Viskosität, Plastizität) des Pflanzenschutzmittels und der Umgebungstemperatur, sowie die Reinigung des Systems und den Umgang mit dem dabei anfallenden Spülwasser. Um der Lösung dieser Probleme näher zukommen wurde ein Verbundprojekt zwischen der Firma Herbert Dammann GmbH, dem Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz und dem Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig initiiert. Im Rahmen des Projektes wurde ein Prototyp mit drei eigenständigen Spritzsystemen entwickelt und gebaut. Es wurden Prüfstandsmessungen zur Dosiergenauigkeit und Feldversuche zur Prüfung der Funktionalität des Prototyps durchgeführt.

Material und Methoden

Es wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung entwickelt und gebaut. Mit diesem Prototyp wurden zunächst Prüfstandsmessungen zur Dosiergenauigkeit unter Verwendung eines fluoreszierenden Farbstoffes durchgeführt. In einem Feldversuch auf einer Selbstbegrünung wurde im Herbst 2014 die Funktionalität des Prototyps unter Feldbedingungen getestet. Im Frühjahr 2015 erfolgte ein Feldversuch zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation in Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). In einem weiteren Versuch wurde untersucht, ob es zu Wirkungsminderungen kommt wenn alle drei Düsenleitungen gleichzeitig applizieren.

Beschreibung des entwickelten Feldspritzgerätes mit Direkteinspeisung

Das im Rahmen der Innovationsförderung entwickelte Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung, besteht aus drei separaten Düsenleitungen mit jeweils zugeordneter Wasserpumpe, Armatur und elektrisch angetriebener Direkteinspeiseeinheit. Im Nachfolgenden wird von System I, System II und System III gesprochen. Damit können bis zu drei verschiedene Pflanzenschutzmittel unabhängig voneinander appliziert werden. Da die Direkteinspeisepumpen, welche von der Firma Raven bezogen wurden, mit ihrem Arbeitsbereich nicht alle PSM-Aufwandmengen bei verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten auch in Teilbreiten abdecken wurden zwei verschiedene Pumpengrößen im Feldspritzgerät eingebaut. System I und System II verfügen jeweils über eine große Direkteinspeisepumpe mit einem Arbeitsbereich von 0,15 – 5,9 l/min und System III verfügt über eine kleine Direkteinspeisepumpe mit einem Arbeitsbereich 0,03 – 1,18 l/min. Des Weiteren ist der Tank des Prototyps in fünf Kammern unterteilt. Je eine Kammer für die Trägerflüssigkeit, für System I mit 4500 l, für System II mit 1500 l und für System III mit 500 l Volumen. Eine weitere Kammer fungiert mit 500 l als Spülwassertank (Frischwasser) sowie die Fünfte mit einem Volumen von 200 l als Spülwasserauffangtank. Der Prototyp ist somit vergleichbar mit drei Pflanzenschutzgeräten auf einem Fahrgestell. Der Grund für die Unterteilung des Tanks in eigene Kammern für jedes System liegt darin das optional auch die Möglichkeit besteht in der Kammer von System I Tankmischungen zu nutzen wenn Wirkstoffe nicht in flüssiger Formulierung zur Verfügung stehen. Die Minimierung der Verzögerungszeiten der Direkteinspeisung wurde durch eine Vorladung der Düsenleitungen erreicht. Dazu sind die Düsenleitungen konstruktiv als Ringspülleitungen ausgelegt welche außer zum Vorladen immer geschlossen sind. Die Wasserpumpe fördert permanent Wasser, welches über die Gleichdruckarmatur zurück in den Tank fließt. Der Durchflussmesser ist erst dahinter verbaut, so dass dabei kein Durchfluss gemessen wird. Vor Beginn der Applikation wird die Ringspülleitung für eine definierte Zeit geöffnet, bis die gewünschte Sollkonzentration erreicht wird und das System somit vorgeladen ist. Durch das Öffnen der Ringspülleitung fließt am Durchflussmesser Wasser und ein Signal geht an das Direkteinspeisesystem welches das Pflanzenschutzmittel in Abhängigkeit von der Durchflussmenge des Wassers und dem eingestellten Dosierwert zu dosiert. Vor Beginn der Applikation werden die Ringspülleitungen zunächst für eine definierte Zeit geöffnet, um diese mit den jeweils eingesetzten Pflanzenschutzmitteln und dem Frischwasser bis zur letzten Düse mit der gewünschten Sollkonzentration vorzuladen. Werden die Düsen bei der Applikation eingeschaltet, steht die Sollkonzentration verzögerungsfrei zur Verfügung. Die bei der Vorladung bis zur Sollkonzentration entstehende Spülflüssigkeit wird in den Spülwasserauffangtank geleitet und am Ende der Applikation im Rahmen der Reinigung auf der Fläche ausgebracht.

Prüfstandsmessungen

Die Versuchsfrage lautete:

Dosieren sowohl die große, als auch die kleine Direkteinspeisepumpe bei unterschiedlichen Dosiermengen innerhalb des vom Hersteller angegebenen Arbeitsbereichs mit einer Genauigkeit von mindestens +/- 7 % um den Sollwert?

Zur Überprüfung der Dosiergenauigkeit erfolgten die Prüfstandsmessungen mit einer Lösung mit dem fluoreszierenden Farbstoff Brillant Sulfo Flavin (BSF), welche durch die Direkteinspeisepumpe in den Wasserstrom vor der Mischkammer dosiert wurde. Mit einem Fluorometer wurde die Konzentration des Gemischs aus Wasser und BSF-Lösung am Düsenausgang gemessen. An das Fluorometer war ein Datenlogger angeschlossen, der die Messwerte aufgezeichnet hat. Vor jeder Änderung der Dosierstufe wurde das Messgerät mit einer Kalibrierlösung, die der eingestellten Sollkonzentration entsprach, kalibriert. Dadurch entsprach ein Anzeigewert von „100 %“ der jeweils gewollten Sollkonzentration.

Feldversuch Applikationsgenauigkeit

Im Herbst 2014 wurde ein erster Freilandversuch zur Applikationsgenauigkeit auf der Stoppel einer Ackerfläche nach Winterweizen mit Ausfallgetreide bzw. Selbstbegrünung durchgeführt. Die Versuchsfrage lautete:

Funktioniert das Vorladen der Düsenleitungen und arbeitet der Prototyp ohne Verzögerung über die gesamte Arbeitsbreite und bei Teilbreiten?

Auf dem Schlag mit einer Größe von ca. 6,2 ha wurden Parzellen ausgemessen und abgesteckt. In Fahrtrichtung waren die Parzellen 10 m, 20 m und 30 m lang, weiterhin wurde die Parzellenbreite zwischen 27 m (volle Arbeitsbreite) und 11 m (Teilbreite) variiert. Die Parzellen wurden mit GPS-Technik vermessen und daraus Applikationskarten erstellt. Um eine parzellenscharfe Applikation durchzuführen, wurden für den Test zwei nicht-selektive Herbizide ausgewählt. Die Behandlung der Parzellen erfolgte in einer Überfahrt mit zwei Direkteinspeisungssystemen entsprechend der erstellten Applikationskarten nach einem GPS-Signal ohne RTK-Genauigkeit. Über System I wurde das Herbizid Taifun forte (Wirkstoff Glyphosat) mit 5 l/ha und über System II das Herbizid Basta (Wirkstoff Glufosinat) mit 3,75 l/ha entsprechend der Applikationskarten appliziert.

Feldversuch teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung im Winterweizen

Im Frühjahr 2015 wurden auf zwei Praxisflächen mit Winterweizen teilflächenspezifische Herbizidapplikationen durchgeführt. Auf Schlag I wurde auf einer Fläche von ca. 2,2 ha und auf Schlag II einer Fläche von ca. 4,4 ha das Unkrautvorkommen erfasst. Die Unkrautbonitur erfolgte an Punkten von 1 m x 1 m in einem Raster von 13,5 m x 13,5 m auf der gesamten Versuchsfläche. Auf der Grundlage der Boniturergebnisse wurden Unkrautverteilungs- und Herbizidapplikationskarten erstellt. Zwischen den Boniturergebnissen wurde interpoliert. Um Vergleiche zwischen betriebsüblicher Behandlung und teilflächenspezifischer Behandlung ziehen zu können, wurde immer nach einer Arbeitsbreite (27 m), zwischen betriebsüblich ganzflächiger Anwendung und der unter Berücksichtigung von Schadensschwellen teilflächenspezifischen Anwendung gewechselt. Die Versuchsfragen lauteten:

Kommt es zu Ertragsunterschieden zwischen teilflächenspezifischer Unkrautbekämpfung gegenüber der konventionellen ganzflächigen Unkrautbekämpfung?

Kommt es zu Einsparungen durch die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung gegenüber der konventionellen Behandlung der gesamten Fläche?

Auf den Versuchsflächen wurden die Leitunkräuter bonitiert. Dies waren bei den monokotylen Unkrautarten vor allem Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) und Gemeiner Windhalm (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.), die teilflächenspezifisch mit 1,2 l/ha Traxos (Wirkstoffe: Clodinafop und Pinoxaden) behandelt wurden. Bei den dikotylen Unkräutern wurden nach der Bonitur zwei Behandlungsgruppen gebildet. Mit 1,5 l/ha Tristar (Wirkstoffe: Bromoxynil, Fluroxypyr und Ioxynil) wurden Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.), Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas* L.) sowie vereinzelt die Echte Kamille (*Matricaria recutita* L.) teilflächenspezifisch behandelt. In der zweiten Behandlungsgruppe wurden Efeublättriger Ehrenpreis (*Veronica hederifolia* L.), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis* Murray) und vereinzelt Ausfallraps (*Brassica napus* L.) mit 2 l/ha Pixie (Wirkstoffe: Diflufenkan und Mecoprop-P) behandelt. In der betriebsüblichen Variante wurde eine Tankmischung aus 300 g/ha Atlantis WG (Wirkstoffe: Iodosulfuron und Mesosulfuron) + 600 ml/ha Formulierungshilfsstoff und 70 g/ha Biathlon (Wirkstoffe: Tritosulfuron und Florasulam) ganzflächig appliziert. Nach der Abreife des Winterweizens wurden die Versuchsflächen mit einem Mähdrescher mit Ertragskartierung beerntet.

Feldversuch zur Wirkungsminderung durch Wirkstoffabwaschung von Zielflächen

Die Versuchsfrage lautete:

Beeinflusst die gleichzeitige Applikation aus zwei oder drei parallelen Düsenleitungen mit der damit verbundenen höheren Wasseraufwandmenge die Wirksamkeit der Behandlung?

Im Spätsommer 2015 wurde nach der Ernte der Vorfrucht auf einer Fläche von ca. 2 ha Gelbsef (*Sinapis alba* L.) eingesät. Mit georeferenzierten Applikationskarten wurde zum BBCH-Stadium 16 des Gelbsefs, in Parzellen von 27 m (volle Arbeitsbreite) x 10 m, die Behandlung mit Taifun Forte (Wirkstoff: Glyphosat) durchgeführt. Es wurde auf drei Spritzbahnen je neun Parzellen mit einer Pflanzenschutzmittelaufwandmenge von 5 l/ha Taifun Forte und verschiedenen Wasseraufwandmengen (200 l/ha; 300 l/ha; 350 l/ha) appliziert (Tab. 1). Auf einem Drittel der Parzellen wurde lediglich über die Düsenleitung von System I Taifun Forte per Direkteinspeisung appliziert. Beim zweiten Drittel der Parzellen wurde zusätzlich zu System I mit System II und auf den übrigen Parzellen zusätzlich mit System III die gleiche Wasseraufwandmenge appliziert. Je Wasseraufwandmenge und Applikationsvariante (System I allein; System I + System II; alle drei Systeme gleichzeitig) wurden drei Wiederholungen durchgeführt. Die Anordnung der Parzellen innerhalb der Spritzbahnen erfolgte zufällig.

Tab. 1 Beschreibung der Herbizid-Applikationen.

Tab. 1 Description of herbicide treatments.

| | System I (alle Parzellen) | + System II | + System III |
|-----------------|---|-----------------------|-----------------------|
| Bahn I | 9 x 200 l/ha Wasser + 5 l/ha Taifun forte | + 6 x 200 l/ha Wasser | + 3 x 200 l/ha Wasser |
| Bahn II | 9 x 300 l/ha Wasser + 5 l/ha Taifun forte | + 6 x 300 l/ha Wasser | + 3 x 300 l/ha Wasser |
| Bahn III | 9 x 350 l/ha Wasser + 5 l/ha Taifun forte | + 6 x 350 l/ha Wasser | + 3 x 350 l/ha Wasser |

Ergebnisse

Prüfstandsmessungen

In Abbildung 1 und 2 sind die Ergebnisse der Prüfstandsmessung mit der kleinen Direkteinspeisepumpe (Arbeitsbereich 0,03 – 1,18 l/min) und der großen Direkteinspeisepumpe (Arbeitsbereich 0,15 – 5,9 l/min) abgebildet.

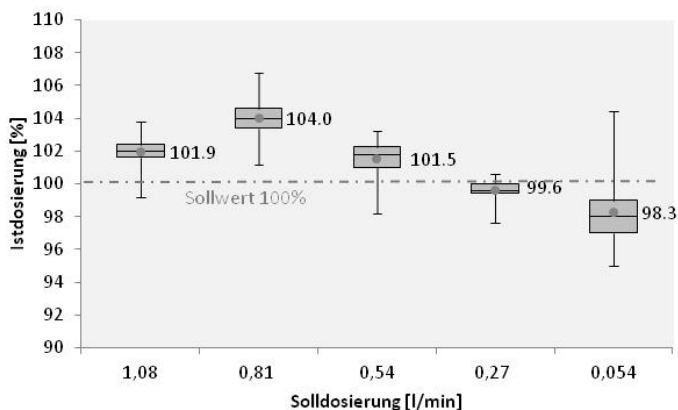


Abb. 1 Dosiergenauigkeit der kleinen Dosierpumpe [Arbeitsbereich von 0,03 – 1,18 l/min] bei verschiedenen Dosierleistungen (n = 180).

Fig. 1 Dosage accuracy of the small dosing pump [working range 0.03 – 1.18 l/min] at different work areas (n = 180).

Dargestellt sind jeweils Messungen in fünf verschiedenen Dosierstufen innerhalb des Arbeitsbereiches der Pumpe. Die Zahlen neben den Punkten zeigen für jede Dosierstufe das arithmetische Mittel aus jeweils 180 Messungen. Die Box verdeutlicht den Interquartilsabstand innerhalb dem 50 % aller Messungen liegen.

Wie die Ergebnisse für die kleine Dosierpumpe in Abbildung 1 zeigen, liegt die Abweichung der Dosiergenauigkeit vom Sollwert im Mittel bei nicht mehr als +/- 4 %. Der höchste Wert der

Istdosierung wurde für die Pumpe mit dem kleinen Fördervolumen, mit 106,8 % bei einer Dosiermenge von 0,81 l/min gemessen und liegt immer noch innerhalb des vorher festgelegten Toleranzbereichs von +/- 7 % gegenüber dem Sollwert. Der geringste Wert wurde mit 95 % bei der Dosiermenge 0,054 l/min gemessen und liegt ebenfalls innerhalb des festgelegten Toleranzbereiches. Die größte Streuung wurde bei der geringsten Dosiermenge (0,054 l/min) gemessen. Die Ergebnisse der großen Pumpe in Abbildung 2 zeigen, dass auch hier die größte Streuung der Werte im unteren Dosierbereich vorliegt. Die Extremwerte bei der Pumpe mit dem großen Fördervolumen liegen über alle fünf Dosierbereiche betrachtet zwischen 97,8 % im unteren Bereich und 106 % im oberen Bereich und damit innerhalb der Toleranz von +/- 7 % um den Sollwert.

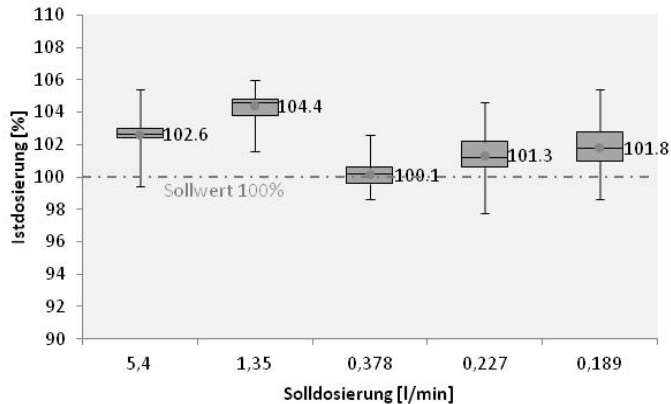


Abb. 2 Dosiergenauigkeit der großen Dosierpumpe [Arbeitsbereich von 0,15 – 5,9 l/min] bei verschiedenen Dosierleistungen (n = 180).

Fig. 2 Dosage accuracy of the large dosing pump [working range 0.15 – 5.9 l/min] at different work areas (n = 180).

Feldversuch Applikationsgenauigkeit

Die Wirksamkeit der Behandlung hat die Dosiergenauigkeit der Direkteinspeisungssysteme bestätigt. Beim Ein- und Ausschalten am Anfang bzw. Ende der Parzellen zeigte sich, dass das entwickelte Feldspritzgerät verzögerungsfrei arbeitet. Die Parzellen waren in Fahrtrichtung entsprechend der vorgegebenen Behandlungsbreite immer gleichmäßig breit, was zeigt, dass das Vorladen funktioniert und es keinen verzögerten Konzentrationsaufbau von der Gestängemitte nach außen gibt. Abbildung 3 zeigt die behandelten Parzellen. Die teilweise aufgetretenen Überlappungen über die Parzellengrenze hinaus waren sehr gering. Die entstandenen Überschreitungen der Sollgrenzen sind im tolerierbaren Bereich, wenn man berücksichtigt, dass ein GPS-Signal ohne RTK Genauigkeit verwendet wurde.



Abb. 3 Luftbild der behandelten Parzellen.

Fig. 3 Aerial image of treated plots.

Feldversuch zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung im Winterweizen

In Tabelle 2 ist dargestellt welche Fläche mit den einzelnen Pflanzenschutzmitteln gegenüber der betriebsüblichen Applikation behandelt wurde. Auf Schlag I betrug die bei der teilflächenspezifischen Behandlung überfahrene Fläche 1,091 ha. Das Herbizid Tristar wurde auf 0,04 ha oder etwa 3,7 %, das Herbizid Traxos auf 0,46 ha oder etwa 42 % und das Herbizid Pixie auf 0,6 ha oder etwa 55 % der Fläche angewendet. Tabelle 2 vergleicht desweiteren die Kosten der Herbizide bei der realen Teilflächenbehandlung mit den Kosten der theoretischen, ohne Direkteinspeisung, üblichen Ganzflächenapplikation. Auf Schlag I wären bei betriebsüblicher Behandlung der teilflächenspezifisch behandelten Fläche von 1,09 ha 77,03 € für Herbizide angefallen. Durch die Teilflächenbehandlung nach Schadensschwellen konnten die Kosten für diese Fläche auf 42,96 € reduziert werden. Bei Schlag II ergab sich eine Reduktion der Herbizidkosten von 154,42 € für 2,187 ha auf 66,76 €. Umgerechnet auf einen Hektar konnten bei Schlag I 31,22 €/ha oder etwa 44 % und bei Schlag II 40,07 €/ha oder etwa 57 % der Kosten für Herbizide eingespart werden.

Tab. 2 Kosten der Unkrautbekämpfung: Vergleich der betriebsüblichen zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation.

Tab. 2 Costs of weed control: Comparison of standard to site-specific herbicide application.

| | Betriebsüblich | | Teilflächenspezifisch | |
|--|--|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Herbizide | 300 g Atlantis WG (143,70 €/kg) + 70 g Biathlon (392,85 €/kg) | 1,5 l/ha Tristar (36 €/l) | 1,2 l/ha Traxos (37,60 €/l) | 2 l/ha Pixie (16,70 €/l) |
| Behandelte Fläche in ha Schlag I | 1,091 | 0,04 | 0,46 | 0,6 |
| Entstandene Kosten € Schlag I | 77,03 | 2,16 | 20,76 | 20,04 |
| Summe Kosten Teilfläche in € | | | 42,96 | |
| Behandelte Fläche in ha Schlag II | 2,187 | 0,34 | 0,51 | 0,76 |
| Entstandene Kosten € Schlag II | 154,42 | 18,36 | 23,01 | 25,38 |
| Summe Kosten Teilfläche in € | | | 66,76 | |

Bei der Beerntung mit einem Mähdrescher mit Ertragskartierung konnten keine Ertragsunterschiede zwischen den betriebsüblichen und teilflächenspezifisch behandelten Versuchsfeldern festgestellt werden.

Feldversuch zur Wirkungsminderung durch Wirkstoffabwaschung von Zielflächen

Der Gelbsenf war bei der Bonitur 14 Tage nach Applikation auf allen behandelten Parzellen, unabhängig von der Wasseraufwandmenge abgestorben. Dennoch zeigte sich bei Beobachtungen zwischen Applikation und Bonitur, dass auf den Parzellen mit sehr hoher Wasseraufwandmenge die herbizide Wirkung verzögert auftrat. So war auf den Parzellen mit Wasseraufwandmengen von bis zu 600 l/ha, gegenüber den Parzellen mit höherer Wasseraufwandmenge, die herbizide Wirkung schon eine Woche nach der Applikation sicher feststellbar.

Diskussion

Die Ergebnisse der Prüfstandsmessungen zeigen, dass die verwendete BSF-Lösung mit der geforderten Genauigkeit in den Wasserstrom dosiert wird. Vergleicht man die Streuung innerhalb der jeweiligen Dosierstufe miteinander, dann zeigt sich, dass die Streuung bei beiden Pumpengrößen in der Dosierstufe an der unteren Grenze des Arbeitsbereiches am größten ist. Somit sind Dosiergenauigkeiten eher am unteren Ende des jeweiligen Dosierbereiches zu erwarten. Erst nach umfangreichen Praxiseinsätzen kann festgestellt werden ob alle Pflanzenschutzmittelformulierungen unter verschiedenen Umweltbedingungen unproblematisch dosierbar sind und die mit der BSF-Lösung gemessenen Dosiergenauigkeiten erreichen. Wenn der Anwender die leicht durchzuführende Kalibrierung der Direkteinspeisepumpen für jedes Pflanzenschutzmittel ausführt, dann ist zu erwarten, dass keine größeren Probleme mit der Dosiergenauigkeit auftreten sollten.

Die Feldversuche zur Applikationsgenauigkeit zeigen, dass mit Applikationsbeginn am Anfang einer Parzelle sofort über die volle Arbeitsbreite eine herbizide Wirkung eingetreten ist (Abb. 3). Das zeigt, dass das System des Vorladens funktioniert. Der von SÖKEFELD et al. (2005) diskutierte Nachteil von langen Verzögerungszeiten bei einer zentralen Einspeisung der PSM in die Düsenleitung ist mit dem Verfahren der Vorladung beim entwickelten Prototyp gelöst worden. So kann durch die Verwendung von drei Düsenleitungen mit je einem eigenen Direkteinspeisesystem ohne Verzögerungszeiten zwischen verschiedenen PSM gewechselt werden oder bei Bedarf auch drei verschiedene PSM gleichzeitig appliziert werden.

Die Ergebnisse zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung im Winterweizen haben gezeigt, dass durch die teilflächenspezifische Herbizidapplikation der Verbrauch, sowie die Kosten für Pflanzenschutzmittel reduziert werden können. In welchem Umfang Einsparungen möglich sind hängt von der jeweiligen Unkrautsituation auf dem Schlag ab. Kritisch ist das weite Raster zu sehen, welches für die manuelle Unkrauterfassung aus Gründen des Arbeitsaufwandes gewählt werden musste. Eine höhere Auflösung könnte mit Unkrautsensoren oder mittels kameragestützter Bonitur per Drohne erreicht werden. Die Praxisreife dieser Systeme wird für die Zukunft erwartet. GERHARDS (2004) berichtet ebenfalls über das Einsparpotenzial bei der teilflächenspezifischen Behandlung mit selektiven Herbiziden. Er beziffert das Einsparpotenzial bei von ihm durchgeführten Versuchen auf bis zu 96 % im Getreide, bis zu 61 % in Mais und bis zu 64 % in Zuckerrüben. NORDMEYER (2006) berichtet von Untersuchungen aus einem Versuchszeitraum von sieben Jahren (1999 bis 2005) wo in einzelnen Versuchsjahren bis zu 85 % der Ackerfläche mit Herbiziden unbehandelt bleiben konnte. Im Durchschnitt konnte NORDMEYER (2006) durch die Teilflächenbehandlung noch eine Reduzierung des Herbizideinsatzes von 50 % erreichen. Ertragsunterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Teilflächen konnte er nicht feststellen.

Der Versuch zur Wirkungsminderung durch mögliche Wirkstoffabwaschung von Zielflächen hat gezeigt, dass die herbizide Wirkung auch bei gleichzeitiger Nutzung aller drei Düsenleitungen

parallel mit bis zu 1050 l/ha Wasseraufwandmenge gegeben war. TOEWS et al. (2012) berichten von tendenziell geringeren Wirkungsgraden bei Versuchen mit Acker-Fuchsschwanz und Wasseraufwandmengen von 250 l/ha gegenüber 100 l/ha. Begründet wird dies mit der Gefahr des zusammenfließens von kleinen Tropfen zu großen Tropfen und dem dann möglichen Abrollen vom Blatt. Die Morphologie der Unkräuter kann ein Abrollen eventuell begünstigen. Allerdings zeigte ein unveröffentlichter Vorversuch mit in Töpfen angezogenem Acker-Fuchsschwanz und Efeublättrigen Ehrenpreis auf einer stationären Spritzanlage bei Aufwandmengen von bis zu 1200 l/ha keine Wirkungsminderung. Grundsätzlich wird in der landwirtschaftlichen Praxis mit geringen Wasseraufwandmengen (oft im Bereich 150 bis 200 Liter Wasser/ha) gearbeitet, so dass die Gefahr der Wirkstoffabwaschung von Zielflächen auch bei drei gleichzeitig arbeitenden Düsenleitungen als gering einzustufen ist.

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. Unser Dank gilt den Kolleginnen und Kollegen der Institute für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz und für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung. Bedanken möchten wir uns ebenfalls bei unserem Projektpartner der Herbert Dammann GmbH für die produktive Zusammenarbeit.

Literatur

- ANONYMUS., 1989: Pflanzenschutz: Wasser und Mittel endlich getrennt. Profi Magazin für professionelle Agrartechnik **1** (12), 9.
- GERHARDS, R., 2004: Precision Farming im Pflanzenschutz. In: Landinfo 3: Informationen für die Landwirtschaftsverwaltung / Baden-Württemberg, Hg. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume (LEL), 10-15.
- GERHARDS, R. und H. OEBEL, 2006: Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. Weed Research **46**, 185–193.
- NORDMEYER, H., 2006: Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz – Beitrag der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung. Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes **58**, 317-322.
- SÖKEFELD, M.; P. HLOBEŇ und P. SCHULZE-LAMMERS, 2005: Entwicklung einer Versuchseinrichtung zur Untersuchung der Verzögerungszeiten von Direkteinspeisungssystemen für die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden. Agrartechnische Forschung **11**, 145-154.
- TOEWS, R.-B.; R. FRIESSLEBEN und P. NAUNHEIM, 2012: Mehrjährige Versuchsergebnisse zum Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf die selektive Gräserkontrolle im Getreide. In: Nordmeyer, H.; Ulber, L. (Hrsg.): Tagungsband / 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung: 13.-15. März 2012, Braunschweig Julius-Kühn-Archiv **434**, 223-227.
- VONDRICKA, J. und P. SCHULZE LAMMERS, 2009: Real-time controlled direct injection system for precision farming. Precision Agric. **10**, 421–430.
- WARTENBERG, G., 2000: Teilflächenspezifisches Spritzen von Pflanzenschutzmitteln. Landtechnik **55**, 438–439.