

Jan-Philip Pohl¹, Hilmar Dunekacke², Frank von Barga², Dieter von Hörsten¹, Jens Karl Wegener¹

Direkteinspeisung an Feldspritzgeräten zur situationsgerechten und teilflächenspezifischen Applikation

Direct injection on field sprayers for situation-appropriate
and site-specific application

Zusammenfassung

Bisher werden im praktischen Pflanzenschutz üblicherweise Tankmischungen eingesetzt, eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Mittel ist so unmöglich. Feldspritzgeräte mit Direkteinspeisung sind in der Lage, mehrere Pflanzenschutzmittel in einer Überfahrt unabhängig voneinander verzögerungsfrei und zielgenau zu applizieren. Direkteinspeisung ist eine notwendige Technik, um die teilflächenspezifische Applikation mit getrennt dosierbaren Pflanzenschutzmitteln umzusetzen. Sie trägt damit zur umweltschonenden und nachhaltigeren Agrarproduktion bei. Nach der Entwicklung und Markteinführung eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln (Verbundprojekte ptBLE FKZ: 2815404010; 2815IP005) durch die Firma DAMMANN wurde das System im Praxiseinsatz für die teilflächenspezifische Applikation genutzt. Das System der Direkteinspeisung ermöglicht somit die sensor- und geodatengestützte Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln.

Stichwörter: Direkteinspeisung, Applikationstechnik, Feldspritzgerät

Abstract

Up to now, tank mixtures have usually been used in practical crop protection, making a site-specific application of

individual agents impossible. Field sprayers with direct injection are able to apply several crop protection agents in one pass, independently of each other, without delay and precisely. Direct injection is a necessary technique for implementing site-specific application with separately dosed crop protection agents. It thus contributes to environmentally friendly and more sustainable agricultural production. After the development and market launch of a direct injection system without delay times for the site-specific application of crop protection products (joint projects ptBLE FKZ: 2815404010; 2815IP005) by the company DAMMANN, the system was used in practice for site-specific application. The direct injection system thus enables the sensor- and geodata-supported application of plant protection products.

Key words: direct injection, application technology, field sprayer

Einleitung

Die Idee der Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) anstelle der Verwendung praxisüblicher Tankmischungen ist schon über 30 Jahre alt. Für die Praxis geeignete Systeme wurden bisher in Deutschland nicht angeboten. Aus diesem Grund wurde zuerst analysiert, wo bei bisherigen Direkteinspeisesystemen die Probleme liegen, die dazu führen, dass in der landwirtschaft-

Affiliationen

¹ Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Braunschweig

² Herbert Dammann GmbH – Pflanzenschutztechnik/Fahrzeugtechnik/Airporttechnik, Buxtehude-Hedendorf

Kontaktanschrift

Jan-Philip Pohl, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: jan-philip.pohl@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung eingereicht/angenommen

8. Februar 2021/14. April 2021

lichen Praxis in Europa bis heute kaum Feldspritzgeräte mit Direkteinspeisung zu finden sind (KREBS et al., 2015a). Des Weiteren ermöglichen die Methoden des „Precision Farming“ im Ackerbau eine bedarfsorientierte, teilflächenspezifische Bewirtschaftung des Pflanzenbestandes. Bei heterogenem Schaderregervorkommen werden PSM nur auf Teilflächen appliziert, wodurch der Verbrauch an PSM und die Belastung der Umwelt deutlich reduziert werden können. Bisher werden überwiegend Tankmischungen eingesetzt, eine teilflächenspezifische Anwendung einzelner Mittel ist so unmöglich. Eine Lösung bieten Feldspritzgeräte mit Direkteinspeisung. Weitere Vorteile der Direkteinspeisung sind zum einen, dass keine Restmengen an Spritzflüssigkeit entstehen, da sich nur klares Wasser im Tank befindet und zum anderen die kurzen Reinigungszeiten (KREBS et al., 2015b). Die Vermischung von PSM und Wasser zur Applikation findet kurz vor der Düse statt. Aufgrund mangelnder Dosiergenauigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit konnten sich bisher entwickelte Systeme nicht in der Praxis durchsetzen (KREBS et al., 2015a). Mehrere Verbundprojekte mit dem Partner Firma HERBERT DAMMANN GmbH und dem Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig haben ein marktreifes und marktverfügbares Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung entwickelt. Im Fokus stand, dass das Gerät mehrere PSM in einer Überfahrt unabhängig voneinander verzögerungsfrei und zielgenau appliziert. Das Feldspritzgerät wurde auf großen Ackerbaubetrieben in der Nähe von Braunschweig und einem großen Gemüsebaubetrieb im Oldenburger Münsterland im intensiven Praxisalltag eingesetzt und getestet. Der Praxiseinsatz hat gezeigt, dass das Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung in der Lage ist innerhalb des Arbeitsbereiches der Dosierpumpen mit hoher Dosiergenauigkeit PSM teilflächenspezifisch und ohne Verzögerungszeiten zu applizieren. Die gleichmäßige Pumpleistung der Dosierpumpen zeigt die exakte Funktion der Direkteinspeisung, was durch die Wirkungsergebnisse in einzelnen Versuchspartzen belegt wird. Ziel des Praxiseinsatzes war die intensive Erprobung des Direkteinspeisungssystems, um die Funktionssicherheit des Systems und die Auswirkungen einer teilflächenspezifischen Behandlung zu bewerten und die Praxistauglichkeit zu belegen. Ein wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang war die Optimierung der Handhabung des Feldspritzgerätes, der Elektronik und des Direkteinspeisungssystems selbst (POHL et al., 2016).

Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung

Der Einsatz von PSM im Ackerbau ist zur Sicherung des Ertrags ein wichtiger Baustein. Unkrautpopulationen sowie tierische und pilzliche Schaderreger bilden auf Ackerflächen unterschiedliche Verteilungsmuster, die durch eine mehr oder weniger hohe Heterogenität gekennzeichnet sind. Die bisher in der landwirtschaftlichen Praxis übliche einheitliche Ganzflächenbehandlung mit PSM in Tankmischungen ist daher ökonomisch und

ökologisch als nachteilig zu werten und überschreitet oft das notwendige Maß der PSM-Anwendung. Die erfolgreiche Umsetzung des Teilschlagkonzeptes ist an eine geeignete Technik gebunden. 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. Für die gleichzeitige, voneinander unabhängige Applikation mehrerer PSM bedarf es aber Mehrkammerfeldspritzen, mit der Problematik der Restmengen, oder Feldspritzgeräten mit Direkteinspeisung. Das realisierte Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung in Abb. 1 hat eine Arbeitsbreite von 27 m und besteht aus einem Hauptbehälter, der in zwei einzelne Systeme unterteilt ist. Zwei Tanks mit unterschiedlichen Fassungsvermögen versorgen die Spritzsysteme (System I mit 4500 Liter, System II mit 2000 Liter) mit Wasser (WEGENER et al., 2016).

Der Wassertank von System I ist zusätzlich mit einem Rührwerk und Reinigungsdüsen ausgestattet, so dass hier auch die Möglichkeit besteht, neben der Direkteinspeisung konventionell mit einer Tankmischung zu arbeiten. Das Gerät ist für diesen Zweck mit einer Einspülschleuse ausgerüstet. Somit können auch festformulierte PSM in System I verwendet werden. Die Tanks von System II führen nur Wasser und sind nicht mit Reinigungsdüsen ausgestattet. Des Weiteren ist ein Frischwassertank mit 500 Liter Fassungsvermögen vorhanden. Markteingeführte Geräte haben einen ähnlichen Aufbau oder führen im Hauptbehälter, der nicht mehr unterteilt ist wie beim Prototyp, ausschließlich Wasser ohne bereits eingemischtes PSM mit (POHL et al., 2017).

Um mit dieser Technik jedoch eine tatsächliche Teilflächenapplikation unter Praxisbedingungen umzusetzen, bedarf es der zusätzlichen Entwicklung einer Systemumgebung, welche eine Vielzahl von satelliten-, sensorgesteuerten und geodatengestützten Informationen über Schnittstellen integrieren kann und mit dessen Hilfe Teilflächen innerhalb der gesamten Applikationsfläche für unterschiedliche Applikationsmaßnahmen identifiziert und näher charakterisiert werden können. Im Verbundprojekt „Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmittel“ wird mit verschiedenen Partnern ein Assistenzsystem für das Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung entwickelt, mit dessen Hilfe es über eine Webanwendung möglich ist, Applikationskarten zu erzeugen. In die Applikationskarten können verschiedenste Parameter wie zum Beispiel Wetter, Ertragskarten, Unkrautverteilung usw. eingebunden werden, die vollautomatisch vom Feldspritzgerät abgearbeitet werden (POHL et al., 2020).

Verzögerungszeiten

Da Verzögerungszeiten bei bisherigen Systemen zur zentralen Direkteinspeisung durch den zu weit entfernten Einspeisungspunkt zum Düsenausgang entstehen, gab es nur zwei Lösungsmöglichkeiten: eine Einspeisung in



Abb. 1. Forschungsfeldspritzgerät mit Direkteinspeisung. A) Aufteilung des Forschungsfeldspritzgerätes mit Direkteinspeisung in die verbauten und unabhängig voneinander funktionierenden Systeme auf einem Fahrgestell mit farblicher Codierung (Blau – System I, Rot – System II, Gelb – System III, Grün – Spülwassertank, Schwarz – Spülwasserauffangtank). B) CAD-Zeichnung vom Forschungsfeldspritzgerät mit Direkteinspeisung. Die farbliche Codierung zeigt die Zugehörigkeit einzelner Komponenten zum jeweiligen System.

Düsenhöhe, was zu Problemen bei der Dosierung führt (KREBS et al., 2015c) oder das „Vorladen“ der Düsenleitung. Aus diesem Grund wurde der Prototyp mit einer eigenen Düsenleitung für jedes der zwei Systeme ausgestattet, des Weiteren besteht jedes System aus einem oder mehreren PSM-Vorratsbehältern und einer, bzw. mehreren Dosierpumpen. Jede Düsenleitung kann also mit einem individuellen Wasser-PSM-Gemisch betrieben werden. Vorladen heißt, dass die im Spritzbetrieb geschlossene Ringspüleleitung vor Applikationsbeginn so lange geöffnet wird, bis in der Düsenleitung die eingestellte Soll-Konzentration erreicht ist. Die Ringspüleleitung wird geschlossen, sobald der Vorgang des Vorladens abgeschlossen ist. Bereits zum Vorladen müssen sowohl die Wasserpumpe als auch die Direkteinspeisungspumpen auf die gewünschten Werte eingestellt werden. Wird nun das Programm „Vorladen“ gestartet, öffnet die Ringspüleleitung für eine bestimmte, von der eingestellten Förderleistung der Trägerflüssigkeitspumpe (Wasserpumpe) abhängige, Zeit. Die Direkteinspeiseeinheit bekommt über den Wert am Durchflussmesser der Trägerflüssigkeit (Wasser) das Signal, PSM hinzuzudosieren. Die eingestellte Zeit des Vorladens ist so bemessen, dass vom Einspeisungspunkt bis zur äußersten Düse das Wasser-PSM-Gemisch in der Soll-Konzentration anliegt. Nach dem Schließen der Ringspüleleitung fließt kein Wasser mehr durch den Durchflussmesser und stoppt somit die Dosierung von PSM. Erst während der Applikation, wenn die Düsen geöffnet werden, fließt wieder Wasser durch den Durchflussmesser und es wird erneut PSM hinzu

dosiert. Mit diesem Verfahren steht beim Öffnen jeder Teilbreite an jeder Düse sofort die volle Anwendungskonzentration zur Verfügung. Aus diesem Ansatz ergeben sich zwei Applikationssysteme auf einem Fahrgestell des Prototypen, die voneinander unabhängig voll funktionsfähig sind. Außerdem sind im Prototyp noch zwei weitere hydraulisch angetriebene Pumpen verbaut, die zur Förderung des Reinigungswassers notwendig sind. Um alle Systeme gleichzeitig nutzen zu können, war im Prototyp pro System noch ein Bedienterminal erforderlich. Im Rahmen des Projektes wurde deshalb die Elektronik weiterentwickelt, so dass die marktreifen Geräte nur noch über ein Terminal verfügen, mit dem die gesamte Spritze mit bis zu fünf Dosierstellen gesteuert werden kann. Um jede Dosierstelle unabhängig voneinander anzusteuern, besitzt jede Direkteinspeisepumpe eine eigene Bedienoberfläche (POHL et al., 2017).

Dosiergenauigkeit der Direkteinspeisung

Bei den Direkteinspeisepumpen für die Dosierung des Pflanzenschutzmittels handelt es sich um ein System der Firma Raven, die zwei Pumpengrößen anbietet. Eine große Pumpeneinheit im Arbeitsbereich von 0,15 l/min bis 5,9 l/min und eine kleine Pumpeneinheit mit einem Arbeitsbereich zwischen 0,03 l/min und 1,18 l/min. Am Prototyp mit Direkteinspeisung sind zwei große Einheiten und eine kleine Einheit verbaut, mit denen bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h, in Abhängigkeit der

Aufwandmenge, die in Tab. 1 dargestellten Arbeitsbreiten bzw. Teilbreiten realisiert werden können (KREBS et al., 2015b). Bei einer Ausbringungsmenge von 1 l/ha sind mit der kleinen Direkteinspeiseeinheit Arbeitsbreiten kleiner 3 m bis zu Arbeitsbreiten größer 36 m ohne mögliche Abweichungen vom Sollwert zu dosieren. Bei gleicher Aufwandmenge und der Nutzung der großen Direkteinspeiseeinheit müssen mindest auf 12 m Arbeitsbreite Düsen geöffnet sein, um die Sollmenge exakt zu dosieren.

Nachdem der Volumenstrom der Einzelkomponenten des Systems überprüft wurde, wird die Dosiergenauigkeit der Direkteinspeisung noch einmal am kompletten Prototypen gemessen. Die Messungen haben ergeben, dass Dosierungen kleiner Mengen zwar mit größeren Schwankungen der Dosiergenauigkeit verbunden sind als Dosierungen großer Mengen. Mit Abweichungen von höchstens 7 % bewegen sie sich aber in einer Größenordnung, die allen Anforderungen der Dosiergenauigkeit genügen (JULIUS KÜHN-INSTITUT (JKI), 2013). Die Verwendung von bis zu drei Düsenleitungen auf Feldspritzgeräten mit je einem eigenen oder mehreren Direkteinspeisesystemen ohne Verzögerungszeiten ermöglicht es, dass zwischen verschiedenen PSM gewechselt werden kann oder bei Bedarf auch drei verschiedene PSM bzw. PSM-Mischungen gleichzeitig appliziert werden können (KREBS et al., 2016).

Praxiseinsatz

Ergebnisse aus dem Praxiseinsatz (Abb. 2) zeigen, dass die Feldparzellen exakt in Breite und Länge entsprechend der Applikationskarte von dem Feldspritzgerät mit Direkteinspeisungssystem abgearbeitet werden. Dies zeigt, dass die Vorladung der Sollkonzentration bis zur Düse sehr gut funktioniert und es keinen Unterschied in der Konzentration von der Gestängemitte zum Gestängeende gibt. Die Dosierpumpen ermöglichen eine einfache Kalibrierung auf eingefüllte PSM, die unterschiedliche Viskosität haben können. Eine teilflächenspezifische Applikation konnte die Kosten für den Pflanzenschutz wesentlich reduzieren. In welchem Umfang Einsparungen möglich sind, hängt von der jeweiligen Situation der Ackerschläge

ab. Hierbei spielen alle Faktoren des Ackerbaus eine Rolle. Es entstehen minimale Restmengen, was dazu führt, dass vor allem wesentlich kürzere Reinigungszeiten für das System benötigt werden. „Die Reinigung des Systems ist schnell vollzogen und das anfallende Spülwasser ist wesentlich geringer“, so die persönliche Mitteilung eines Praktikers.

Ziel des Praxiseinsatzes war die intensive Erprobung des Direkteinspeisungssystems, um die Funktionssicherheit des Systems und die Auswirkungen einer teilflächenspezifischen Behandlung zu bewerten und die Praxistauglichkeit zu belegen.

Fazit

Im Rahmen der Entwicklung wurde ein Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung zur teilflächenspezifischen Applikation von PSM marktreif entwickelt und erprobt. Im Fokus stand, dass der Prototyp in der Lage sein muss, mehrere PSM in einer Überfahrt unabhängig voneinander verzögerungsfrei zu applizieren. Die theoretisch möglichen Arbeitsbreiten, welche mit den verwendeten Direkteinspeisedosierpumpen möglich sind, wurden berechnet. Praxiseinsätze zur Applikationsgenauigkeit bestätigten die Funktionstüchtigkeit des entwickelten Feldspritzgerätes. In welchem Umfang Einsparungen im Praxiseinsatz möglich sind, hängt von der jeweiligen Schaderregersituation auf dem Schlag ab. Insgesamt zeigen die erzielten Resultate, dass Feldspritzgeräte mit verzögerungsfreier Direkteinspeisung möglich sind und damit PSM zielgenau und teilflächenspezifisch angewendet werden können. Im Jahr 2017 konnte das Feldspritzgerät mit Direkteinspeisung zur Serienreife weiterentwickelt werden. Des Weiteren erfolgte 2018 die JKI-Anerkennung zum geprüften Pflanzenschutzgerät.

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft

Tab. 1. Mögliche Arbeitsbreiten bei 8 km/h in Abhängigkeit von der PSM-Aufwandmenge (KREBS et al., 2016).

Aufwand PSM	Arbeitsbreite kleine Direkteinspeiseeinheit		Arbeitsbreite große Direkteinspeiseeinheit	
	min.	max.	min.	max.
0,1 l/ha	24m	> 36m	–	–
0,2 l/ha	12m	> 36m	–	–
0,5 l/ha	6m	> 36m	24m	> 36m
1 l/ha	< 3m	> 36m	12m	> 36m
2 l/ha	< 3m	> 36m	6m	> 36m
3 l/ha	< 3m	27m	6m	> 36m
4 l/ha	< 3m	21m	< 3m	> 36m
5 l/ha	< 3m	15m	< 3m	> 36m



Abb. 2. Forschungsfeldspritzgerät mit Direkteinspeisung im Praxiseinsatz. A) Forschungsfeldspritzgerät mit Direkteinspeisung bei der Applikation eines Feldversuchs zur Kontrolle der Applikationsgenauigkeit nach Applikationskarte. B) Luftbild des Feldversuchs zur Kontrolle der Applikationsgenauigkeit nach Applikationskarte. C) Unkrautverteilungskarte zur Erstellung einer Applikationskarte. D) Teilflächenspezifische Herbizidapplikation nach Applikationskarte mit sichtbarem Unterschied beim Düsenausstoß.

(BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundesrates. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. (ptBLE, FKZ: 2814907515).

Interessenskonflikte


Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur


- JULIUS KÜHN-INSTITUT (JKI), 2013: Richtlinie für die Prüfung von Pflanzenschutzgeräten 1-1.0. Anforderungen an Pflanzenschutzgeräte Rev.03.15.
- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, J.K. WEGENER, 2015a: Entwicklung eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Pflanzenschutzmittelapplikation. *Landtechnik* **70** (6), 238-253.
- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, J.K. WEGENER, 2015b: Direkteinspeisung ohne Verzögerungszeiten – Ergebnisse aus Feldversuchen. 56. Österreichische Pflanzenschutztagung, 24.11. und 25.11.2015, Seehotel Rust, Zusammenfassung der Präsentationen, 16-17, URL: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00018566.
- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, J.K. WEGENER, 2015c: Development and field test of a direct injection system without delay times for site-specific pesticide application. XVIII. International Plant Protection Congress: Mission possible: food for all through appropriate plant protection; 24 - 27 August 2015, Berlin (Germany); Abstracts, 125, URL: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00017441.

- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 2016: Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 232-240, DOI: 10.5073/jka.2016.452.032.
- POHL, J.-P., D. RAUTMANN, D. VON HÖRSTEN, H. NORDMEYER, M. KREBS, 2016: Präzise Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung. *Der Pflanzenarzt* **69**, 12-14.
- POHL, J.-P., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, D. VON HÖRSTEN, 2017: Site-specific application of plant protection products in Precision Farming by direct injection. *Advances in Animal Biosciences* **8** (2), 255-258, DOI: 10.1017/S2040470017000255.
- POHL, J.-P., D. VON HÖRSTEN, J.K. WEGENER, 2020: Digitales Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation mit Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln: Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation. In: GANDORFER, M., A. MEYER-AURICH, H. BERNHARDT, F.X. MAIDL, G. FRÖHLICH, H. FLOTO, H. (Eds.): *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft: Fokus: Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier*; Referate der 40. GIL-Jahrestagung, 17. - 18. Februar 2020, Campus Weihenstephan, Freising, 15-20.
- WEGENER, J.K., M. KREBS, D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 2016: Teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln – Stand der Technik und aktuelle Herausforderungen. In: DLG (Hrsg.): *Tagungsband der Tagung Land. Technik für Profis 2016: Pflanzenschutz*, 33-46, URL: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00019542.

© Der Autor/Die Autorin 2021.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2021.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).