

---

## Sektion 5: Verfahren zur Herbizidreduktion

### Session 5: Methods for herbicide reduction

---

#### Assistenzsystem für den teilflächenspezifischen Einsatz von Herbiziden

*Assistance system for the site-specific use of herbicides*

**Jan-Philip Pohl<sup>1\*</sup>, Dieter von Hörsten<sup>1</sup>, Jens Karl Wegener<sup>1</sup>, Burkhard Golla<sup>2</sup>, Isabella Karpinski<sup>2</sup>, Sandra Rajmis<sup>2</sup>, Christoph Sinn<sup>2</sup>, Henning Nordmeyer<sup>3</sup>, Christina Wellhausen<sup>3</sup>, Benno Kleinhenz<sup>4</sup>, Marco Herrmann<sup>4</sup>, Hilmar Dunekacke<sup>5</sup>, Asmus Matthiesen<sup>5</sup>, Frank von Barges<sup>5</sup>, Daniel Jahncke<sup>6</sup>, Dirk Feise<sup>6</sup>, Manfred Röhrig<sup>7</sup>, Reinhard Sander<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

<sup>2</sup>Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

<sup>3</sup>Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

<sup>4</sup>Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz, Rüdeshheimer Str. 60 - 68, 55545 Bad Kreuznach

<sup>5</sup>HERBERT DAMMANN GmbH, Dorfstraße 17, 21614 Buxtehude-Hedendorf

<sup>6</sup>GeoInformationsDienst GmbH, Götzenbreite 10, 37124 Rosdorf

<sup>7</sup>Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V., Rüdeshheimer Straße 60-68, 55545 Bad Kreuznach

\*Korrespondierender Autor, jan-philip.pohl@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.033



#### Zusammenfassung

Die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden zur Unkrautbekämpfung ist ein Ansatz, mit dem eine Reduktion und Spezifikation angewandeter Pflanzenschutzmittel und somit eine umweltschonendere und nachhaltigere Agrarproduktion möglich wird. Im Rahmen des BLE-Projektes "Entwicklung und Praxistest eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln" konnte erstmals eine technisch ausgereifte Direkteinspeisungsfeldspritze genutzt werden, mit dieser die bislang bekannten Probleme der Direkteinspeisung gelöst wurden. Um mit dieser Technik jedoch eine tatsächliche Teilflächenapplikation unter Praxisbedingungen umzusetzen, bedarf es der zusätzlichen Entwicklung einer Systemumgebung, welche eine Vielzahl von satelliten-, sensor- 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. Zielsetzung ist die Entwicklung eines Assistenzsystems basierend auf der Direkteinspeisung zur orts- und zeitabhängigen teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln. Erste Ergebnisse zeigen eine wirtschaftliche Kosteneinsparung und eine umweltschonendere Herbizideinsatz durch teilflächenspezifische Applikation.

**Stichwörter:** Assistenzsystem, Direkteinspeisung, Pflanzenschutzmittel, teilflächenspezifische Applikation

#### Abstract

The site-specific application of herbicides for weed control is an approach that enables the reduction and specification of pesticides and thus a more environmentally friendly and sustainable agricultural production. Within the scope of the BLE project "Development and practical test of a direct feed system without delay times for partial area application of crop protection agents", a technically mature direct feed field sprayer could be used for the first time, which solved the previously known problems of direct injection. However, in order to implement an actual partial area application under practical conditions with this technology, it is necessary to additionally develop a system environment which can integrate a large number of satellite-, sensor- and geodata-supported information via interfaces and with the help of which partial areas within the entire application area can be identified and characterised in more detail for different application measures. The aim is to develop an assistance system based on direct feeding for the location- and time-dependent sub-area-specific application of pesticides.

**Keywords:** Assistance system, direct injection, pesticides, site-specific application

## **Einleitung**

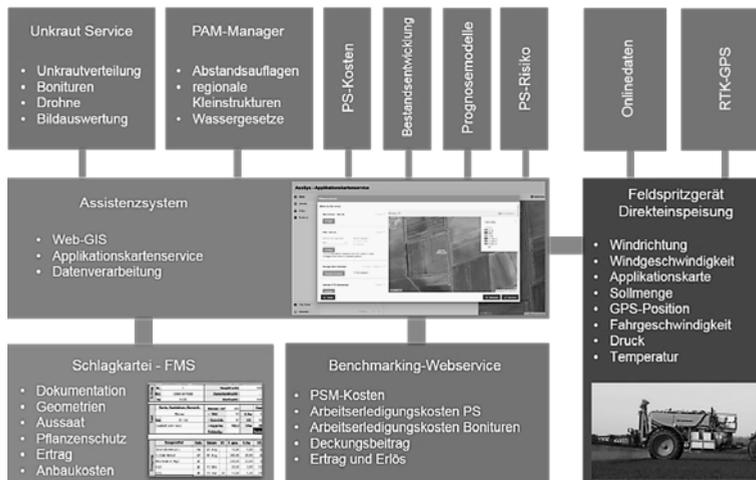
Präzisionslandwirtschaft kann mit einer gezielten und hocheffizienten Ausbringung von Produktionsfaktoren (Pflanzenschutzmittel, Dünger, etc.) die natürlichen Ressourcen und die Biodiversität auf dem Schlag und in unmittelbarer Umgebung schonen. Im Bereich des Pflanzenschutzes ist dazu die teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln eine notwendige Grundvoraussetzung (KREBS et al., 2015). Ziel des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ist eine deutliche Reduktion und Spezifikation zur Behandlung vorgesehener Herbizide und somit eine situationsgerechte und umweltschonendere Agrarproduktion. Es wird anhand von Feldversuchen systematisch untersucht, ob die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden wirtschaftlich ist.

Der Anteil an Herbiziden bzw. Wirkstoffen, der potentiell in die verschiedenen Kompartimente des Naturhaushaltes verfrachtet werden kann, wird im Sinne einer modernen, standortangepassten und ressourceneffizienten Bewirtschaftung reduziert, indem der Wirkstoff positionsgenau auf der Zielfläche, dem Ort des tatsächlichen Bedarfs, appliziert wird. Bisher basiert die Teilflächenbehandlung auf dem Wissen und der Erfahrung des Anwenders/Betriebsleiters und auf Bonituren. Dies wird sich mit dem zunehmenden Einsatz von digitalen Systemen, wie Sensorik, Satellitendaten und Drohnen wesentlich vereinfachen (NORDMEYER und PFLANZ, 2016). Dieses Ziel wird mit verschiedenen Projektpartnern im laufenden Projekt „Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmittel“ verfolgt und umgesetzt. Es wird ein Assistenzsystem entwickelt, das mit Hilfe verschiedener Webservices die Erstellung von Applikationskarten ermöglicht und dabei verschiedenste Informationsquellen als Webservices zur Verfügung bereitstellt. Die Dateninputs bestehen zum Beispiel aus langjährigen Ertragsdaten, Unkrautkarten, Satellitendaten aber auch Bestandsaufnahmen per Drohne, die im Assistenzsystem prozessiert werden und vom Feldspritzgerät mit Hilfe des erzeugten Kartenmaterials vollautomatisch und teilflächenspezifisch appliziert werden. Dies ist ein wichtiger Schritt für die Effizienzsteigerung im Pflanzenbau. Der Beitrag zeigt den aktuellen Entwicklungsstand des Assistenzsystems auf und informiert über Versuchsergebnisse und Lösungen im Projekt. Aufgezeigt werden sollen Verfahrensabläufe und erforderliche Daten, die über eine Schnittstelle zu den bereits in der Praxis vorhandenen elektronischen Ackerschlagkarteien bereitgestellt werden. Zusätzlich sollen weitere für die Durchführung eines sach- und fachgerechten Pflanzenschutzes wichtige Online-Daten (z. B. lokale Wetterdaten, Maschinenparameter, Schaderregerprognosemodelle, Geländeprofilerkennung, Kleinstrukturen) berücksichtigt werden. Das Assistenzsystem begleitet den Anwender durch den gesamten Prozess - Planung, Vorbereitung, Applikation und Dokumentation - des Pflanzenschutzes. Viele der dazu notwendigen Informationskomponenten sind heute bereits verfügbar und können zur Steuerung, Regelung sowie Überwachung und Automation herangezogen werden.

## **Material und Methoden**

Im Rahmen des IGreen-Projektes (FLEUREN, 2009) wurde bereits ein Applikationsassistent entwickelt, der prinzipiell in der Lage ist, den Fahrer bei der Einhaltung von Anwendungsbestimmungen festgelegten Abständen zu Gewässern und Saumstrukturen zu unterstützen. Dieser Ansatz wurde in dem bis April 2016 durchgeführten BLE-Innovationsvorhaben „Pesticide Application Manager“ (PAM – Pflanzenschutzanwendungs-Manager) aufgegriffen und in eine Prozesskette integriert. Der Fokus lag hier auf der Einhaltung von Anwendungsbestimmungen (Technik und Abstand) zum Schutz von Oberflächengewässern und Saumbiotopen (z. B. SCHEIBER et al., 2015; RAJMIS et al., 2016). Beim PAM-Projekt standen jedoch nicht der reduzierte Einsatz von PSM sowie die Optimierung der eigentlichen Applikation auf der Anwendungsfläche im Vordergrund. Des Weiteren wurden keine Methoden für die erforderliche Bündelung von On- und Offline-Informationen mit dem Ziel einer standortangepassten und ressourceneffizienten PSM-Anwendung im Sinne einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf der gesamten Anbaufläche entwickelt. Gerade diese Informationen sind jedoch für eine teilflächenspezifische Applikation von großer Bedeutung. An

dieser Stelle setzt das vorliegende Vorhaben an und vervollständigt die technologischen Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und Risikominimierung. Dabei unterstützt das System den Anwender bei seinen Entscheidungen im Sinne einer sach- und fachgerechten Applikation. Ein vollkommen automatisierter Prozess, ohne Eingriffsmöglichkeiten durch den Anwender, ist jedoch nicht das Ziel des Assistenzsystems. Vielmehr sollen alle hierfür benötigten und verfügbaren Daten zusammengeführt und dem Anwender in aufbereiteter Form zur Entscheidungsunterstützung und Empfehlung zur Verfügung gestellt werden. Moderne Pflanzenschutzgeräte verfügen heute bereits über eine Vielzahl verschiedener Assistenzsysteme, mit deren Hilfe der Anwender bei der Applikation entlastet wird. Dazu gehören z. B. GPS-gesteuerte automatische Teilbreitenschaltungen und Gestängesteuerungen, Tools zur Minimierung von Restmengen sowie automatische Reinigungseinrichtungen. Die Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen kann im Vorfeld in Farm Management-Information-Systemen (FMIS) geplant und dokumentiert werden. Der Anwender hat die Möglichkeit, sich durch Prognosetools über die Notwendigkeit von Anwendungen und deren optimalen Zeitpunkt zu informieren. Darüber hinaus muss er die Anwendungsbestimmungen der von ihm genutzten Herbizide kennen, das Unkrautaufkommen auf den Zielflächen identifizieren und im Kontext zur Bestandsentwicklung analysieren und interpretieren. Vor und während der Applikation sind zudem die Wetterbedingungen für eine erfolgreiche Behandlung zu beachten. In der Abbildung 1 ist die Systemarchitektur hinter dem geplanten Assistenzsystem dargestellt. Zentrales Element des Gesamtsystems ist ein GIS-gestützter, webbasierter Applikationskartenservice. Mittels offener, standardisierter bzw. dokumentierter Schnittstellen, welche die standardisierten Formate XML, GeoJSON und GML sowie GeoTIFF für den Datenaustausch nutzen, können externe Webservices eingebunden werden. So wird auf z.T. vorprozessierte satelliten-, sensorgesteuerte und geodatengestützte Informationen und weitere Informationsquellen, wie Prognosemodelle, Webservice für Abstandsauflagen bis hin zum Linked-Open-Data BVL-PSM-Verzeichnis (PAM-Dienst), zugegriffen. Auf Grundlage dieser Daten wird mit dem Applikationskartenservice eine Applikationskarte erstellt und in das Assistenzsystem übertragen.



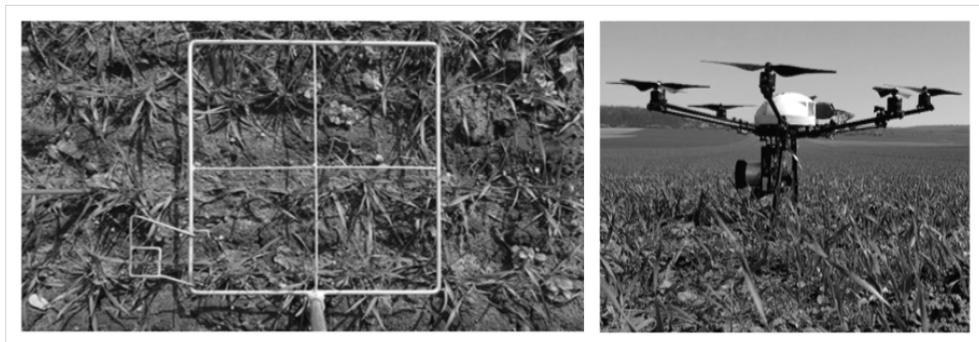
**Abb. 1** Systemarchitektur des Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation.

**Fig. 1** System architecture of the application assistant for site-specific application.

Im Servicemodul Unkraut, wird an einer automatischen Unkrauterkenner für Bilder gearbeitet. Unkräuter zählen nach wie vor zu den wichtigsten Schadorganismen im Ackerbau. Obwohl schon lange über Unkräuter geforscht wird, sind sowohl klimatische, technische oder ökonomische Rahmenbedingungen für das Projekt neu zu betrachten. Für eine teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung ist eine Erfassung von Unkrautdichte und -arten mit hoher räumlicher

Auflösung erforderlich (NORDMEYER, 2006). Manuelle Unkrautbonituren, wie sie durchgeführt werden, sind in der Praxis kaum realisierbar. Eine höhere Auflösung könnte mit Unkrautsensoren oder wie aktuell schon eingesetzt mittels kameragestützter Bonitur per Drohne erreicht werden. Aus Sicht einer teilflächenspezifischen Herbizidapplikation ist die Erfassung und Analyse raumbezogener Unkrautinformationen zwingend erforderlich. Dazu gehören die Erkennung verschiedener Unkrautarten und deren Dichte sowie ihre räumliche Verteilung auf einer Fläche. Während manuelle Bonituren zu kostenintensiv und nicht praxistauglich sind, kann die Unkrauterfassung stattdessen mit Hilfe optischer Sensoren im Offline-Verfahren erfolgen. An der Online-Erkennung von Unkräutern durch Sensoren wird seit Jahren in vielen öffentlich geförderten Projekten und auch in Industrieprojekten geforscht. Ein aus heutiger Sicht absehbarer Durchbruch ist im Rahmen der Projektlaufzeit jedoch nicht zu erwarten (NORDMEYER, 2015).

Für die Feldversuche werden Ackerflächen in Testgebieten ausgewählt. Es sollen Testflächen sein auf denen bisher ein normales Unkrautvorkommen aufgetreten ist, um ein breites Herbizidspektrum einsetzen zu können. Die Testgebiete werden auf der Grundlage unterschiedlicher klimatischer Bedingungen und Bodenverhältnisse zur Überprüfung des Assistenzsystems ausgewählt. Dort werden GPS-gestützte Feldbonituren in Ackerkulturen (Schwerpunkt Getreide) durchgeführt. Dies erfolgt durch manuelle (Feldbegehung) und luftgestützte Vegetationserfassung mittels Drohnen (Einzelpflanzen und Pflanzendeckungsgrad) zu verschiedenen Zeiten während der Vegetationsperioden bzw. vor und nach Pflanzenschutzmaßnahmen, wie in Abbildung 2 zu sehen. Es wird ein Multikopter zur Erstellung von Orthofotos (Position und Dimension) und zur Überprüfung von Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzt. Die georeferenzierten Unkrautsituationen werden in einer Geodatenbank abgelegt. Anschließend erfolgt die Datenaufbereitung für die Systemintegration sowie für Prognose- und Entscheidungsmodelle. Schlagspezifische Unkrautkarten werden mit einer GIS-Software erstellt und dienen als Grundlage für die Feldversuche zur Unkrautbekämpfung. Die Kontrolle der durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen im Feld erfolgt als Bonitur 4 bis 6 Wochen nach der Applikation. Abschließend erfolgt die Validierung des Assistenzsystems bezüglich Unkrautbekämpfung und die Überprüfung und Anpassung der einzelnen Systemkomponenten (Identifikation, Navigation, Applikation).

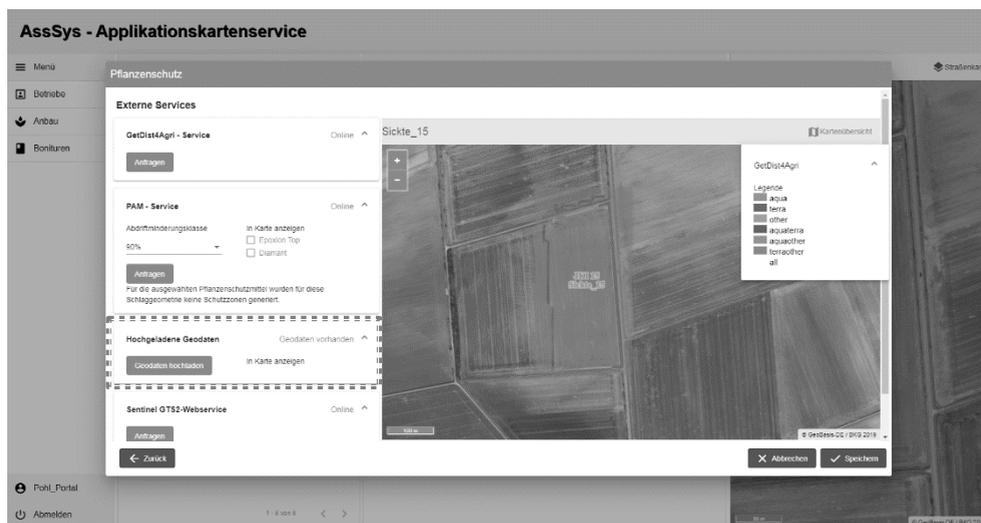


**Abb. 2** Bonituren mit digitalem Zählrahmen und Multikopter zur Erstellung von RGB-Aufnahmen für die automatische Unkrautererkennung.

**Fig. 2** Monitoring with digital counting frame and multicopter to generate RGB images for automatic weed detection.

Bereits seit mehreren Jahrzehnten werden Verfahren zur Vegetationsfernerkundung genutzt. In der Regel werden Satellitenbilder oder Aufnahmen aus bemannten Befliegungen analysiert, um die räumliche Variabilität einer landwirtschaftlichen Kulturfläche zu identifizieren und Kulturmaßnahmen (z. B. Düngung) teilflächenspezifisch anzupassen. Die zeitliche Verfügbarkeit von Satellitenbildern ist jedoch begrenzt. Alternativ ermöglicht der technische Fortschritt auf den

Gebieten der Robotik und Informatik neue Möglichkeiten, die die Entwicklung von autonomen Flugsystemen und leistungsfähigen Bildverarbeitungsalgorithmen auch für die Landwirtschaft erschwinglich machen. So konnte die photogrammetrische Abbildungsleistung durch den Einsatz von Flugrobotern in geringer Höhe in den letzten Jahren erheblich gesteigert werden, was die artspezifische Erfassung von Einzelpflanzen auf einer Kulturfläche potentiell möglich macht. Ausreichende Erfahrungen bezüglich der Navigation in geringen Flughöhen werden gegenwärtig gesammelt und sollen im Rahmen des Projektes ausgewertet werden. Die Zusammenführung und Nutzung von unterschiedlichen pflanzenschutzrelevanten Webservices und die Implementierung in bzw. die Erweiterung von bestehenden FMIS ist eines der wichtigsten Ziele im Projekt.



**Abb. 3** Assistenzsystem in der Maske der externen Services. Der gepunktete Kasten, markiert den Service zum Import von Unkrautkarten. Auf der rechten Seite ist die Schlaggeometrie zu erkennen mit den Saumstrukturen und dem NDVI (normierter differenzierter Vegetationsindex) aus Satellitendaten.

**Fig. 3** Application assistant in the mask of external services. The dotted box marks the service for importing weed maps. In the right corner, the geometry of the field with the vegetative strips and the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) from satellite data is visible.

Abbildung 3 zeigt die Version Oktober 2019 des Assistenzsystems in der Maske der externen Webservices. Die Services werden online angesprochen und können über standardisierte Schnittstellen genutzt werden. Der gepunktete markierte Bereich zeigt die Möglichkeit zur Einbindung von Unkrautkarten, die von einem beliebigen Dienstleister eingebunden werden können. In der Kartenübersicht ist die Schlaggeometrie zu erkennen, sowie die erkannten Saumstrukturen. Des Weiteren ist ein Satellitenbildlayer (NDVI - normierter differenzierter Vegetationsindex) über den Schlag gelegt. Die Webservices von Drittanbietern sollen weiter ausgebaut werden, um eine möglichst optimale Applikationskarte mit dem System erzeugen zu können.

## Ergebnisse

Mit der Entwicklung des geplanten Assistenzsystems wird für die Technologie der Direkteinspeisung die notwendige Infrastruktur bereitgestellt, mit deren Hilfe eine teilflächenspezifische Applikation ohne Restmengen sowie kurze Reinigungszeiten in der Praxis tatsächlich umgesetzt werden kann (POHL et al., 2017). Dies ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass sich die Technologie der Direkteinspeisung am Markt zukünftig etablieren kann (KREBS et al., 2016). Darüber hinaus ist das Assistenzsystem in der Lage, den Anwender beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im gesamten Prozessverlauf, von der Planung der Maßnahme bis zur

abschließenden Dokumentation unterstützend zu begleiten. Dieser Sachverhalt stärkt sowohl den Anwenderschutz als auch den Schutz des Naturhaushalts, da gesetzliche Anforderungen sowie Vorgaben eines sach- und fachgerechten Pflanzenschutzes in Form von Entscheidungsunterstützung oder automatischer Prozessführung umgesetzt werden. Durch Optimierung des Zeitpunkts der Pflanzenschutzmaßnahme sowie der Prozessparameter können Ressourcen geschont werden. Die im Assistenzsystem erzeugten Daten lassen sich vom Anwender in seine FMS/FMIS integrieren und sind somit für das Betriebsmanagement weitgehend nutzbar. Zudem trägt das Assistenzsystem zur Digitalisierung der Prozesse in der Landwirtschaft bei.

## Fazit

Die örtlich und zeitlich differenzierte teilflächenspezifische Applikation auf Grundlage der Direkteinspeisung ist technologisches Neuland und kann durch die Einsparung von PSM maßgebliche Vorteile für den Anwender und die Umwelt bringen (POHL et al., 2016). Zur erfolgreichen Umsetzung dieses Konzepts ist das in diesem Projekt beschriebene Assistenzsystem als zwingend notwendig einzustufen. Bei der Entwicklung des Assistenzsystems zur Applikation von PSM sollen alle erforderlichen Offline-Daten über eine Schnittstelle zu den bereits in der Praxis vorhandenen digitalen Ackerschlagkarteien bereitgestellt werden. Zusätzlich sollen weitere für die Durchführung eines Pflanzenschutzes nach guter fachlicher Praxis bzw. IPS wichtige Online-Daten (z. B. lokale Wetterdaten, Maschinenparameter, Unkrauterkenner, Geländeprofilerkennung) über zusätzliche Schnittstellen direkt während des Applikationsprozess berücksichtigt werden. Teile der dazu notwendigen Informationskomponenten sind heute bereits verfügbar und können zur Steuerung und Regelung sowie Überwachung und Automation des Gesamtprozesses herangezogen werden. Die Entwicklung eines Assistenzsystems, das diese Informationen für die Applikation unterstützend bereitstellt, führt zu einer wesentlichen Optimierung von Herbizidmaßnahmen, da hierdurch die bislang komplexen Entscheidungsprozesse durch intelligente, vernetzte Informationstechnologien erheblich vereinfacht werden.

## Literatur

- FLEUREN, T., 2009: iGreen - Landwirtschaft der Zukunft. ICSY Report, TU Kaiserslautern, **4**, 1-2.
- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 2016: Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 232-240.
- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, J.-K. WEGENER, 2015: Entwicklung eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Pflanzenschutzmittelapplikation. *Landtechnik* **70(6)**, 238-253.
- NORDMEYER, H., 2006: Reduction program for chemical plant protection - Contribution of the area-specific weed control. *News sheet of the German Plant Protection Service* **58**, 317-322.
- NORDMEYER, H., 2015: Herbicide application in precision farming based on soil organic matter. *American Journal of Experimental Agriculture* **8(3)**, 144-151.
- NORDMEYER, H., M. PFLANZ, 2016: Aus der Vogelperspektive betrachtet: Drohnen helfen bei der Unkrautbekämpfung. *Der Pflanzenarzt* **69**, 7-9.
- POHL, J.P., D. RAUTMANN, D. VON HÖRSTEN, H. NORDMEYER, M. KREBS, 2016: Präzise Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung. *Der Pflanzenarzt* **69**, 12-14.
- POHL, J., 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.
- RAJNIS, S., B. GOLLA, B. UHL, D. MARTINI, H. KEHLENBECK, 2016: Ökonomische Bewertung eines Entscheidungshilfesystems im Pflanzenschutz am Beispiel von Winterweizen (PAM - Pesticide Application Manager). *Julius-Kühn-Archiv* **454**, 551-552.
- SCHIEBER, M., C. FEDERLE, J. FELDHAUS, B. GOLLA, B. HARTMANN, B. KLEINHENZ, D. MARTINI, M. RÖHRIG, 2015: Automatisch auf Abstand. *DLZ-Agrarmagazin* **4**, 70-75.