

Alte Daten, neuer Nutzen – Unkrauterhebungen europaweit kombiniert

Old data, new benefit – weed surveys combined throughout Europe

Christoph von Redwitz^{1*}, Jana Bürger²

¹ Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Julius Kühn-Institut (JKI), Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

² Professur Phytomedizin, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Satower Straße 48, 18059 Rostock

*Korrespondierender Autor, christoph.redwitz@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.032



Zusammenfassung

Die Unkrautbekämpfung wird sich in den nächsten Jahren weiterhin verändern, mit geringerem Einsatz von Herbiziden und einem Blick auf alternative Verfahren des Unkrautmanagements. Um diese komplexere Unkrautkontrolle effektiv zu nutzen, wird auch wieder vermehrt breites Wissen der Unkrautökologie benötigt.

Dieses Wissen basiert in vielen Fällen auf lokal oder regional erhobenen Daten. Die daraus abgeleiteten Schlüsse können nur mit gebotener Vorsicht verallgemeinert werden. Der Schritt von der lokalen Beobachtung zur generellen Regel ist naturgemäß unsicher. Die Kombination vieler verschiedener Datensätze bietet prinzipiell eine Möglichkeit, diesen Schritt der Ableitung sicherer zu machen, da ein größerer Teil der auf Feldern real vorliegenden Unterschiede abgebildet wird. Das von einem solchen größeren Datensatz abgeleiteten Wissen hat eine breitere Gültigkeit.

Hier zeigen wir beispielhaft, wie es funktionieren kann, Datensätze verschiedener regionaler oder nationaler Herkunft zu recherchieren und zu sammeln, und wie die Kombination einen Mehrertrag an wissenschaftlicher Erkenntnis bringt. Im Rahmen der Arbeitsgruppe „Weeds and Biodiversity“ der European Weed Research Society (EWRS) werden Unkrauterhebungen aus verschiedenen europäischen Ländern kombiniert, um die Einflussfaktoren auf das Unkrautauftreten auf der kontinentalen Skala zu analysieren.

Wir zeigen aber auch, welche Hürden die Vielfältigkeit der diversen Datensätze mit sich bringt.

Stichwörter: Ackervegetation, Datenbank, Monitoring, Relevé, Unkrauterhebung

Abstract

The weed management of modern agriculture will continue its change to less intense use of herbicides and more prominent use of alternative measures. For an effective use of this more complex weed control, a better knowledge and understanding of weed ecology and of reactions to management measures is necessary. In many cases, this knowledge is based on regionally or nationally collected data. The derived conclusions can only be extrapolated with caution. It is difficult to extract a general rule from local observations, and sometimes not possible. In principal, the combination of different datasets from different regions and times provides the possibility to overcome this problem, because a larger part of the existing differences is addressed. The knowledge generated in this way is more general.

We show how we approached such a data collection of European weed data and provide an overview of the data gathered so far. We discuss some of the arising problems caused by the high heterogeneity of the data and how we handle them. The data collection was conducted within the framework of the working group “Weeds and Biodiversity” of the European Weed Research Society (EWRS) with the aim to analyse the factors influencing the occurrence of weeds.

Keywords: Data base, field survey, relevé, weed monitoring, weed survey

Einleitung

Unkrautbekämpfung ist ein wesentlicher Bestandteil des Pflanzenbaus und wird seit Jahrzehnten maßgeblich unter Einsatz von Herbiziden durchgeführt (DAVIS und FRISVOLD, 2017). Dieses Vorgehen wird aber zunehmend problematischer: Die Zahl von herbizidresistenten Unkräutern wächst (HEAP, 2019) und zeitgleich gibt es keine neuen Herbizide mit neuen Wirkmechanismen (DUKE, 2012; PALLETT, 2016). Im Gegenteil, es wird beklagt, dass immer weniger Wirkstoffe verfügbar sind. Zudem wächst auch die gesellschaftliche Kritik am Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel (VOLKSBEGHEHREN-ARTENVIELFALT, 2018). Daher werden verstärkt alternative Verfahren zur Unkrautbekämpfung gesucht. Das sind zum einen alte Ansätze in neuer Umsetzung, wie es beim Striegel- oder Hackeinsatz der

Fall ist, zum anderen aber auch gänzlich neue Verfahren in der Unkrautbekämpfung, wo z. B. automatisierte Unkrauterkenner und teilflächenspezifische Unkrautkontrolle genannt werden können (CHRISTENSEN et al., 2009). Egal welches Verfahren aber betrachtet wird, die Wirksamkeit und die Bewertung der Verfahren hängen auch von den Eigenschaften der einzelnen Unkrautarten ab. Es ist wichtig, die Ökologie der Unkräuter zu kennen, um ihr Verhalten und ihre Dynamik auf den bewirtschafteten Flächen abschätzen zu können. Tatsächlich können viele neu gestellte Fragen mit bereits vorhandenen Daten beantwortet werden. Für andere Fragen hingegen müssen neue Daten erhoben werden.

In Europa werden seit sehr vielen Jahren Unkrauterhebungen durchgeführt (z. B. MEYER et al., 2013). Viele werden im Rahmen der Unkrautkontrolle und der Ertragssicherung genutzt (z.B. durch die Pflanzenschutzdienste). Andere dienen Fragestellungen des Umweltschutzes wie Nährstoffaustrag oder Gewässerbelastungen. Wieder andere Erhebungen werden mit ökologischen Fragestellungen, wie z. B. der Zusammensetzung der Artengemeinschaft oder der Verteilung von Unkrautarten durchgeführt (FRIED et al., 2008; DE MOL et al., 2015). In den allermeisten Fällen ist nicht ausschließlich die Art und die Dichte eines Unkrauts von Interesse, sondern auch das Wirkungsgefüge Standort - Management – Klima, weshalb neben den Vegetationsdaten auch solche Umwelt- und Managementdaten erhoben werden.

Die Erhebung von Daten ist meistens räumlich und zeitlich limitiert, enger oder weiter, je nach Projektzusammenhang oder der Forschungsfrage, die bearbeitet wird. Entsprechend limitiert auf einen bestimmten Raum oder den konkreten Kontext eines Anbausystems sind darum oft auch die aus ihnen abgeleiteten Schlüsse. Eine Vernetzung von Datensätzen aus verschiedenen Quellen, Regionen oder Zeiträumen verspricht, diese Einschränkung zumindest zum Teil zu beheben und zu grundlegenden Ergebnissen zu kommen. Wir stellen hier den Versuch vor, Daten von Unkrauterhebungen europaweit zu sammeln und kombiniert auszuwerten.

Material und Methoden

Die Datensammlung erfolgte mehrgleisig: zunächst wurden die Autoren von veröffentlichten europäischen Unkrauterhebungen gezielt angesprochen, ob sie Interesse hätten, ihre Daten in solch ein kombiniertes Vorhaben einzubringen. Dann wurde im Juli 2019 auf dem Workshop der Arbeitsgruppe „Weeds and Biodiversity“ aus der European Weed Research Society (EWRS) ein Kooperationsvorhaben gestartet und so weitere Arbeitsgruppen erreicht.

Die Vorgehensweise konzentrierte sich darauf, den Nutzen einer großräumigen Datensammlung aufzuzeigen, einen Anreiz für den Aufwand bei der Daten-Übermittlung zu setzen, und insbesondere Vertrauen in den verantwortungsvollen Umgang mit den Daten zu schaffen. Es wurden zwei Publikationen konzipiert, die verschiedene Aspekte einer solchen Datensammlung behandeln. Allen Datengebern wurde eine Co-Autorschaft offeriert und zugesichert, dass die Daten ausschließlich für die vorgestellten Pläne verwendet würden. Daher wird die vorgestellte Datensammlung vorerst auch nicht öffentlich zugänglich sein.

Ergebnisse

Es zeigte sich, dass die Motivation, Daten kollektiv zu nutzen, groß ist. Eine Bereitstellung von Daten war dennoch zum Teil problematisch. Zum einen gab es verständliche Vorbehalte bei unveröffentlichten Daten. Eine große Hürde war in einigen Fällen die benötigte Zeit, um bereits veröffentlichte Daten herauszusuchen und für die Weitergabe vorzubereiten.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus weiten Teilen Europas waren vom vorgeschlagenen Ansatz überzeugt. Es konnten mehr als 30 Datensätze aus Erhebungen zwischen 1996 und 2016 gesammelt werden. Die Unkrauterhebungen stammen aus elf Ländern, vornehmlich aus Ost-, Mittel- und Westeuropa (Abb. 1). Sie umfassen mehr als 10.000 Flächen und fast 50.000 einzelne Erhebungen (Tab. 1).

Tab. 1 Anzahl von Unkrauterhebungen einzelner Fruchtarten in der vorgestellten europaweiten Datensammlung.

Tab. 1 *Number of weed records in different crops in a collection of weed surveys across Europe.*

Fruchtart	Felder	darauf einzelne Erhebungen
Raps	2.289	13.053
Winterweizen	3.155	4.138
Andere Wintergetreide	876	1.062
Sommergetreide	775	801
Mais	4.906	16.432
Zuckerrüben	401	11.075
Sojabohnen	333	333
Sonnenblumen	339	339
anderes	966	966

Die Datensätze in der Sammlung sind sehr vielfältig und heterogen. Ähnlich wie es in einem Review über Methoden der Unkraut-Erhebung (HANZLIK und GEROWITT, 2016) zusammengefasst wurde, unterscheiden sich die eingereichten Datensätze deutlich in den Aspekten des Sampling-Designs (Auswahl der Felder; Größe der Plots; Anzahl von Wiederholungen) und des verwendeten Systems für die Unkrauterfassung (Dichte vs. Deckung; verwendete Skalen).

Die Heterogenität stellt eine große Herausforderung an die Analyse sowie die Interpretation der Ergebnisse. Sie bietet aber auch eine Chance, die mindestens ebenso komplexe Realität auf den landwirtschaftlichen Flächen eingehender zu untersuchen.

Zum Sampling-Design

Ursprünglich wurden die gesammelten Studien mit sehr unterschiedlichen Fragestellungen durchgeführt, darunter waren z.B.: „den Einfluss der Fruchtfolge auf die Unkrautgemeinschaften abzuschätzen“, „den Einfluss neuer Anbauverfahren auf das Unkrautvorkommen zu messen“, „das Auftreten seltener, gefährdeter Arten einzuschätzen“, oder „Effekte des Anbaus von gentechnisch veränderten Sorten auf Unkräuter zu testen“. Dieses spiegelt sich in der Auswahl der untersuchten Flächen und der Methoden wieder.

Fünf der Studien hatten einen nationalen Fokus, und versuchten, das gesamte relevante Anbauggebiet in ihrem jeweiligen Land durch Erhebungen abzudecken. Die meisten Datensätze allerdings konzentrierten sich auf ein bis sechs Untersuchungsregionen. Einige wenige Datensätze haben nur einen lokalen Umfang (bis zu 10 km²).

Der Erhebungszeitpunkt unterschied sich, da manche Untersuchungen eher das Ziel hatten, die Verunkrautung zum Bekämpfungszeitpunkt abzubilden, und daher in frühen Entwicklungsstadien der Kultur stattfanden. Andere Untersuchungen hingegen rückten sich reproduzierende Unkrautpopulationen in den Fokus und wurden daher zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt. In manchen Studien wurden aber auch Erhebungen zu mehreren Zeitpunkten gemacht.

Die Größe der Erhebungsfläche schwankte ebenso wie deren Aufbau. So wurden in einigen Fällen Spritzenfenster genutzt, in anderen aber nicht, manche Erhebungen wurden am Feldrand und manche in der Feldmitte durchgeführt, manchmal wurde nur ein Wert je Fläche erhoben, manchmal wurde die Erhebung wiederholt. Zehn Studien verglichen explizit konventionell und ökologisch bewirtschaftete Felder.



Abb. 1 Alle bislang gesammelten Unkrautaufnahmen. Jeder schwarze Punkt stellt eine Fläche in mindestens einem Jahr dar.

Fig. 1 All collected weed surveys. Every black dot represents a field in at least one year.

Zum System der Unkrauterfassung

Es wurden verschiedene Skalen zur Schätzung der Unkrautdeckung, aber auch zur Bestimmung der Unkrautdichte genutzt. Einige der unterschiedlichen Skalen sind vergleichbar oder können durch Transformation vergleichbar gemacht werden (z.B. Dichteschätzungen nach Braun-Planquet und Londo).

Die hohe Zahl der gesammelten Erhebungen lässt eine großzügige Auswahl von Datensätzen zu, so dass für eine spezifische Fragestellung passende gefunden werden.

Die zusätzlich zu den Unkrautdaten gesammelten Umweltparameter decken viele für die Verunkrautung wichtige Aspekte des Managements und einige wichtige Aspekte des Bodens ab. Darunter sind die Bodenbearbeitung, Kultur, oder Herbizide im Management oder der Boden pH und der Bodentyp (Tab. 2).

Tab. 2 Anzahl der Datensätze mit Angaben zu den verschiedenen Umwelt- und Managementgrößen.

Tab. 2 Number of datasets including certain environmental and management variables.

Gruppe	Messgröße	Anzahl
Boden	Bodentyp bzw. -textur	17
	pH	12
	Humusgehalt	9
	Nährstoffe	7
Anbausystem	ökologisch	11
	konventionell	23
	Düngung	19
	Bodenbearbeitung	22
	Tiefe der Bodenbearbeitung	5
Management	Fruchtfolge bzw. Vorfrucht	21
	Herbizide	23
	mechanische Unkrautbekämpfung	8
	Deckung der Kultur (%)	13
	Abstand der Saatreihen	6
	Dichte der Kultur (Pflanzen/m ²)	9
	Datum der Aussaat	16
Aussaatsdichte	8	

Ausblick

Nach der Aufbereitung aller Daten in ein einheitliches Format ist die Anfertigung von Fallstudien geplant, mit denen wir Vor- und Nachteile der großen räumlichen Skala gegenüber regional begrenzteren Studien abschätzen werden.

Außerdem stellen wir unsere Datensammlung einer Datenbank mit 40.000 pflanzensoziologischen Erhebungen von Ackerflora (KÜZMÍČ et al., 2018) gegenüber, um die enthaltenen Informationen zur Artenvielfalt zu vergleichen. Langfristig besteht die Möglichkeit, unsere Datensammlung in eine reguläre Datenbank umzuwandeln, und sie z. B. durch die Listung im Global Index of Vegetation Databases (GIVD, DENGLER et al., 2011) einer breiteren wissenschaftlichen Öffentlichkeit bekannt und zugänglich zu machen. Die Beteiligung weiterer Datengeber ist dazu ausdrücklich willkommen.

Beteiligte

Bislang beteiligen sich folgende Personen an dem gemeinsamen Vorhaben: Alicia Cirujeda, Silvia Fogliatto, Guillaume Fried, Denise Fu Dostatny, Michael Glemnitz, Eva Hernandez Plaza, Jordi Izquierdo, Michaela Kolářová, Helen Metcalfe, Jevgenija Nečajeva, Sandrine Petit, Gyula Pinke, Matthias Schumacher und Lena Ulber.

Literatur

- CHRISTENSEN, S., H.T. SØGAARD, P. KUDS, M. NØRREMARK, I. LUND, E.S. NADIMI und R. JØRGENSEN, 2009: Site-specific weed control technologies. *Weed Research* **49** (3), 233–241, DOI:10.1111/j.1365-3180.2009.00696.x.
- DAVIS, A.S. und G.B. FRISVOLD, 2017: Are herbicides a once in a century method of weed control? *Pest management science* **73** (11), 2209–2220, DOI:10.1002/ps.4643.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ und B. GEROWITT, 2015: Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research* **55** (6), 574–585, DOI:10.1111/wre.12169.
- DENGLER, J., F. JANSEN, F. GLÖCKLER, R.K. PEET, M. de CÁCERES, M. CHYTRÝ, J. EWALD, J. OLDELAND, G. LOPEZ-GONZALEZ, M. FINCKH, L. MUCINA, J.S. RODWELL, J.H.J. SCHAMINÉE und N. SPENCER, 2011: The Global Index of Vegetation-Plot Databases (GIVD): a new resource for vegetation science. *Journal of Vegetation Science* **22** (4), 582–597, DOI:10.1111/j.1654-1103.2011.01265.x.
- DUKE, S.O., 2012: A time for herbicide discovery. *Pest management science* **68** (4), 493, DOI:10.1002/ps.3272.
- FRIED, G., L.R. NORTON und X. REBOUD, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **128** (1-2), 68–76, DOI:10.1016/j.agee.2008.05.003.
- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2016: Methods to conduct and analyse weed surveys in arable farming: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **36** (1), 375, DOI:10.1007/s13593-015-0345-7.
- HEAP, I., 2019: The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Zugriff: 16. Oktober 2019, URL: www.weedscience.com.
- KÜZMÍČ, F., U. ŠILC, Z. LOSOSOVÁ und L. MUCINA, 2018: European Weed Vegetation Database. Wrocław, Poland, Poster, 27th Congress of the European Vegetation Survey.
- MEYER, S., K. WESCHE, B. KRAUSE und C. LEUSCHNER, 2013: Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s - a cross-regional analysis. *Diversity and Distributions* **19** (9), 1175–1187, DOI:10.1111/ddi.12102.
- PALLET, K., 2016: Can We Expect New Herbicides with Novel Modes of Action in the Foreseeable Future? *Outlooks on Pest Management* **27** (1), 39–43, DOI:10.1564/v27_feb_09.
- VOLKSBEGHEHREN-ARTENVIELFALT, 2018: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Bayerischen Naturschutzgesetzes zugunsten der Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern. Zugriff: 16. Oktober 2019, URL: www.volksbegehren-artenvielfalt.de.

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^{1*}, Dieter von Hörsten¹, Jens Karl Wegener¹, Burkhard Golla², Isabella Karpinski², Sandra Rajmis², Christoph Sinn², Henning Nordmeyer³, Christina Wellhausen³, Benno Kleinhenz⁴, Marco Herrmann⁴, Hilmar Dunekacke⁵, Asmus Matthiesen⁵, Frank von Bargaen⁵, Daniel Jahncke⁶, Dirk Feise⁶, Manfred Röhrig⁷, Reinhard Sander⁷

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

²Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

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

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

⁵HERBERT DAMMANN GmbH, Dorfstraße 17, 21614 Buxtehude-Hedendorf

⁶GeoInformationsDienst GmbH, Götzenbreite 10, 37124 Rosdorf

⁷Informationssystem 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.

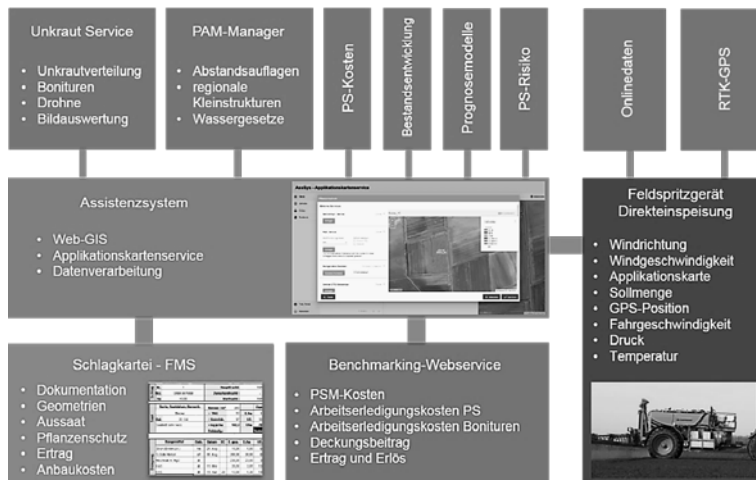


Abb. 1 Systemarchitektur des Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation.

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).

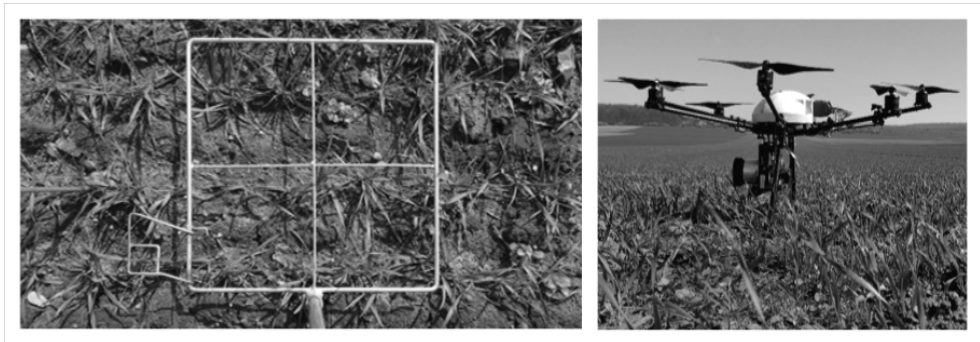


Abb. 2 Bonituren mit digitalem Zählrahmen und Multikopter zur Erstellung von RGB-Aufnahmen für die automatische Unkrautererkennung.

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.

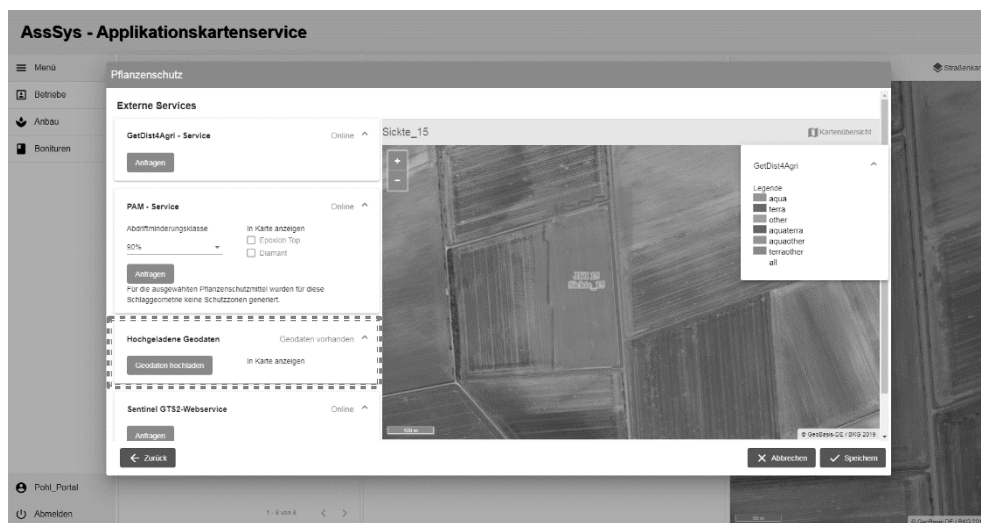


Abb. 3 Assistenzsystem in der Maske der externen Services. Der gepunktete Kasten, markiert den Service zum Import von Unkrautkarten. Auf der rechten Seite ist die Schlaggeometrie zu erkennen mit den Saumstrukturen und dem NDVI (normierter differenzierter Vegetationsindex) aus Satellitendaten.

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.