

## Ökonomische Bewertung der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung

### *Economic valuation of site-specific herbicide applications*

**Sandra Rajmis\*, Isabella Karpinski**

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

\*Korrespondierende Autorin, sandra.rajmis@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.004



### Zusammenfassung

Verglichen mit der schlageinheitlichen Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln kann die teilflächenspezifische Applikation im Precision Farming dazu beitragen, Pflanzenschutzmittel zu reduzieren und eine umweltschonendere Agrarproduktion zu ermöglichen. Erstmals werden im Rahmen des BMEL-Förderprogramms „Innovative Vorhaben für einen nachhaltigen Pflanzenschutz“ in dem Verbundvorhaben „AssSys“ teilflächenspezifische Pflanzenschutzmaßnahmen mit Hilfe eines Mehrkammersystems mit Direkteinspeisung systematisch untersucht und ökonomisch bewertet. Ziel des Projektes ist die präzise Unterstützung des Landwirtes bei der Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen und eine potentielle Reduktion der Kosten von Pflanzenschutzmaßnahmen mit Hilfe eines zu entwickelnden Assistenzsystems. Das ökonomische Teilprojekt unterstützt dabei die Entwicklung eines Pflanzenschutzkosten-Webservices (PS-Kosten-Webservice) und eines Benchmarking-Webservices, die eine wichtige Grundlage für das Assistenzsystem bilden. Ziel des ökonomischen Teilprojektes ist die Gesamtbewertung des Mehrkammer- und des Assistenzsystems. Mit Hilfe des PS-Kosten-Webservices kann z. B. vor der geplanten Behandlung abschätzt werden, wie hoch potentielle Pflanzenschutzmittelkosten, Arbeiterledigungskosten der Pflanzenschutzmaßnahme oder Boniturkosten einer teilflächenspezifischen oder schlageinheitlichen Behandlung sind. Der Benchmarking-Webservice dient dem betriebsinternen Vergleich zur Selbsteinschätzung des Landwirtes oder zur Optimierung der eigenen Pflanzenschutzmaßnahmen durch einen Vergleich mit anderen Betrieben. Als Berechnungsgrundlage für das vorliegende Papier dienen Feldversuche des Jahres 2018. Ergänzend werden Applikations-Szenarien vorgestellt, die sich auf einen Modellbetrieb beziehen.

**Stichwörter:** Assistenzsystem, Benchmarking, nachhaltiger Pflanzenschutz, ökonomische Bewertung, Precision Farming, teilflächenspezifische Applikation

### Abstract

Compared to conventional applications, site-specific applications of plant protection products can reduce the amount of pesticides and contribute to sustainable agriculture. Within the project “AssSys”, financed by the Federal Ministry of Food and Agriculture as part of the financial program “innovations for sustainable agriculture”, site-specific applications of plant protection products with a multi chamber system and direct injection are systematically investigated and economically evaluated. The project aims to support farmers to implement (site-specific) plant protection measures and potentially reduce their costs using a farm management system being developed during the project period. The economic part of the project contributes to the plant protection cost webservice and benchmarking webservice, which are an important basis for the application assistant. The goal of the economic subproject is the economic valuation of the multi chamber system and application assistant. The webservices support farmers to estimate the cost of plant protection products, working or monitoring costs for the site-specific areas in the planning stage. The benchmarking webservice serves for comparison within the farm or for optimization of plant protection measures through comparison with other farms. Calculations presented in this paper are based on field experiments from 2018. Application scenarios referring to a model farm serve as additional information source.

**Keywords:** Application assistant, Benchmarking, economic valuation, Precision Farming, site-specific application, sustainable plant protection

### Einleitung

In welchem Umfang der Einsatz von Precision Farming-Verfahren (PF) zu einer Reduktion von Pflanzenschutzmitteln (PSM) führt, hängt von vielen Faktoren ab, u.a. von der feldinternen Heterogenität von Unkräutern beziehungsweise Schaderregern, der Fruchtfolge und der Produktionsintensität (Rösch et al., 2007). Landwirte in Deutschland setzen derzeit PF-Verfahren hauptsächlich zur Flächenvermessung, Bodenbeprobung und Ertragskartierung ein (Hinck et al.,

2016). Die Zahl der Landwirte und Lohnunternehmer, die ihre PSM mit PF-Verfahren ausbringen, nimmt langsam zu (RUHLAND, 2007). RÖSCH und DUSSELDORP (2007) ermittelten bei der Unkrautbekämpfung mit Offlineverfahren eine Reduktion der applizierten Herbizidmenge um durchschnittlich rund 50 Prozent, in Einzelfällen bis knapp 90 Prozent. Befürchtungen, dass eine Reduktion der Aufwandmenge von Herbiziden durch eine teilflächenspezifische Applikation zu erhöhtem Unkrautdruck mit daraus resultierenden erhöhten PSM-Aufwendungen in den Folgejahren führt, können bisher nicht bestätigt werden (NORDMEYER et al., 2003). LETTNER et al. (2001) haben durch die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung eine Herbizid-Reduktion um 30 bis 70 Prozent gegenüber einer Ganzflächenapplikation erzielt. GERHARDS (1997) hat eine Reduktion des Herbizideinsatzes von 40 bis 50 % ermittelt, TIMMERMANN et al. (2003) erzielten Einsparungen von Herbiziden zwischen 50 bis 70 %. BARROSO et al. (2003) kamen zu dem Ergebnis, dass eine teilflächenspezifische Behandlung nur sinnvoll war, wenn mehr als ein Drittel des Schlages nicht behandelt wurde. Die notwendige Mindesteinsatzfläche der teilflächenspezifischen Applikation, um keinen finanziellen Nachteil gegenüber einer konventionellen Ganzflächenapplikation zu erleiden, ist abhängig von der erreichten Herbizideinsparung, den zusätzlichen Arbeitskosten und dem Wert der bisher aufgewendeten Herbizide (LETTNER et al., 2001). Forschung und Entwicklung konzentrieren sich auf Online-Verfahren zur Unkrauterkenntung mittels optoelektronischer Sensoren in Verbindung mit Bildanalysetechniken (RÖSCH und DUSSELDORP, 2007; NORDMEYER, 2007). Es sind Verfahren in der Entwicklung, die zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern beziehungsweise zwischen verschiedenen Unkrautarten unterscheiden können (bisher nur Anwendungen in Fahrgassen ohne Kulturpflanzen und vor Auflaufen der Kulturpflanzen). Die Differenzierung von Pflanzenarten über Farbmerkmale gestaltet sich bei der digitalen Bildanalyse deshalb schwierig, da Unterschiede im Spektralverhalten von verschiedenen Pflanzen schwach ausgeprägt sind (STAFFORD und BENNLOCH, 1997). Durch PF-Verfahren zur spezifischen Unkrauterkenntung mit Bildanalyseverfahren (über Kameras) konnten zwischen 20 und 90 Prozent der Herbizidapplikationsmenge eingespart werden (NORDMEYER, 2007).

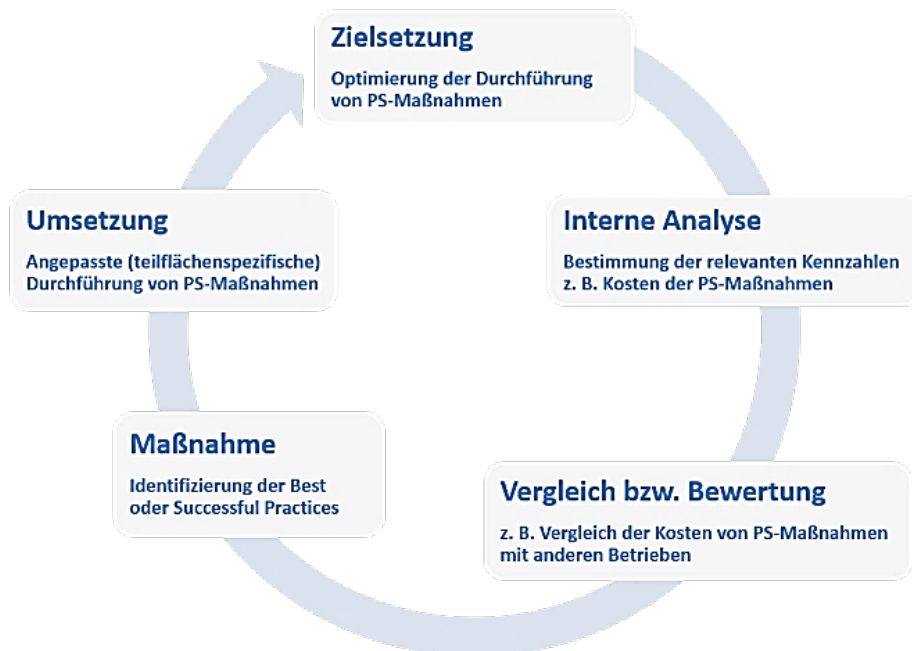
Bisher haben sich in erster Linie Ackerschlagdateien als Unterstützung für Landwirte in der Praxis etabliert. Mit deren Hilfe werden z. B. eingesetzte Saatgutmengen, PSM, Düngemittel und deren Kosten in einem betreffenden Jahr für eine bestimmte Kultur erfasst. Erst kürzlich wurde ein Assistenzsystem entwickelt, mit dem Abstandsaufgaben zu Gewässern und schützenswerten Saumstrukturen automatisch bei der Applikation berücksichtigt werden (RAJMIS et al., 2016). Als technische Voraussetzung für die meisten Assistenzsysteme werden ein GPS-Traktor und eine RTK-Station benötigt. Der Landwirt muss einmalig sein Feld vermessen, um den Schlag zu digitalisieren und in das System zu überführen. Zur Anwendung von Assistenzsystemen wird grundsätzlich eine Systemumgebung benötigt, die eine Vielzahl von satelliten-, sensor- und geodatengestützten Informationen über standardisierte Schnittstellen integrieren kann (SCHEIBER et al., 2015).

Die neueste Entwicklung im PF-Verfahren ist ein Mehrkammersystem mit Direkteinspeisung (SÖKEFELD und GERHARDS, 2004; OEBEL, 2006; KREBS et al., 2016; POHL et al., 2016). Erstmals werden in dem Verbundvorhaben „AssSys“ teilflächenspezifische Pflanzenschutzmaßnahmen mit Hilfe eines Mehrkammersystems mit Direkteinspeisung systematisch untersucht und ökonomisch bewertet und die Methode des Benchmarkings auf das Assistenzsystem übertragen. Im europäischen Umfeld wird Benchmarking anhand von Kennzahlen im Agrarsektor erst seit wenigen Jahren eingesetzt (ISERMEYER, 2012; PAUSTIAN et al., 2015). Ein Beispiel ist das „Agribenchmark“-Netzwerk des Thünen-Instituts. Es wurde als Teil eines globalen Benchmarkings für den Agrarsektor ins Leben gerufen (ISERMEYER, 2012) und dient dem Vergleich von Betrieben untereinander mittels wichtiger ökonomischer Kennzahlen wie beispielsweise Pflanzenschutzkosten (Abb. 1). Benchmarking wurde bisher unter anderem im Zuckerrübenanbau in Großbritannien eingesetzt, um die Anzahl von Fungizidbehandlungen der Landwirte untereinander zu vergleichen (BRITISH BEET RESEARCH ORGANISATION, 2018). Bisher wurde ein Kennzahlenvergleich zur ökonomischen Bewertung einer teilflächenspezifischen Unkrautbehandlung noch nicht eingesetzt (SCHWARZ et al., 1998; SCHWARZ und WARTENBERG, 1999; LETTNER et al., 2001; BARROSO et al., 2003; TIMMERMANN et al., 2003; KILIAN, 2004;

OEBEL, 2006; GERHARDS et al., 2007; TAKACS-GYORGY und TAKACS, 2009). Ein aktueller Trend in der teilflächenspezifischen Unkrauterkenntnis setzt sich mit dem Einsatz von Drohnen auseinander (ROHLEDER und KRÜSKEN, 2016; GERHARDT et al., 2017; DRÜCKER, 2018).

### Material und Methoden

Benchmarking bezeichnet eine Managementmethode, mit der sich durch zielgerichtete Vergleiche unter mehreren Unternehmen, Prozessen oder Produkten das jeweils Beste als Referenz zur Leistungsoptimierung herausfinden lässt. Die Durchführung eines Benchmarkings beruht auf der Orientierung an den Besten einer vergleichbaren Gruppe. Durch Vergleich werden bessere Methoden und Praktiken (Best oder Successful Practices) identifiziert; diese gilt es zu verstehen, auf die eigene Situation anzupassen und z. B. in nachfolgende Maßnahmen zu integrieren. Die Kenntnis von „Best Practices“ führt oftmals zu Leistungssteigerungen und effizienteren Prozessen. Dabei werden Kennzahlen zum Vergleich eingesetzt (DEUTSCHES BENCHMARKING ZENTRUM (DBZ), 2018; INFORMATIONSZENTRUM BENCHMARKING AM FRAUNHOFER IPK(izB), 2018). Im Ablauf des Benchmarkings hat sich das 5-Stufen-Modell etabliert (Abb. 1). Ergebnisse des Benchmarkings können z. B. Kostensenkungen in bestimmten Unternehmensbereichen, Qualitätssteigerungen für bestimmte Produkte oder eine Steigerung der gesamten Unternehmenswettbewerbsfähigkeit sein (DBZ, 2018; IZB, 2018).

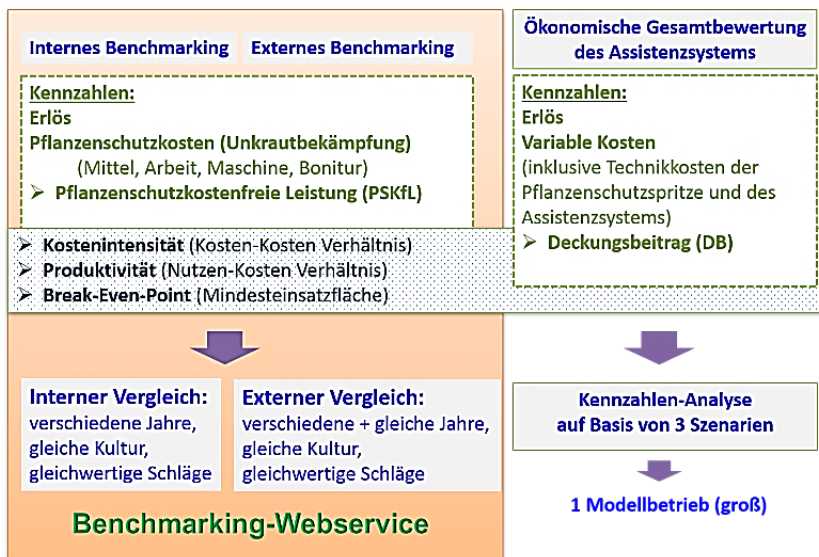


**Abb. 1** Ablauf eines Benchmarking-Prozesses (verändert nach DBZ 2018, izb 2018).

**Fig. 1** Procedure of a benchmarking process (changed after DBZ 2018, izb 2018).

Der Benchmarking-Webservice im Projekt „AssSys“ wurde zur Selbsteinschätzung des Landwirtes durch einen internen Vergleich des eigenen Betriebes und für einen externen Vergleich mit anderen Betrieben zur Optimierung der eigenen Pflanzenschutzmaßnahmen entwickelt. Als Basis hierfür dient das neu entwickelte „AssSys“-Kennzahlenkonzept, das ökonomische Kennzahlen für das interne und externe Benchmarking sowie die ökonomische Gesamtbewertung des Assistenzsystems bereitstellt (Abb. 2). Als wichtigste Kennzahlen für den Benchmarking-Prozess in „AssSys“ wurden Erlöse, Pflanzenschutzkosten und die Pflanzenschutzkostenfreie Leistung (PSKfL) identifiziert (Abb. 2). Erlöse sollen im Assistenzsystem über die erzielten Erträge (aus der

Ertragskartierung) und Erzeugerpreise im Rahmen des PS-Kosten-Webservices bereitgestellt werden. Durch die betriebsinterne und externe Analyse können z.B. Kosten von Pflanzenschutzmaßnahmen einer bestimmten Kultur in verschiedenen bzw. identischen Anbaujahren miteinander verglichen werden (Abb. 2). Die PSkfl errechnet sich aus den Erlösen abzüglich der angefallenen Pflanzenschutzkosten, welche nicht nur die Kosten der Mittel, sondern auch die Arbeitskosten mit Ausbringung und Unkraut-Bonituren sowie die Maschinenkosten der An- und Überfahrten beinhalten. Da im Rahmen der Feldversuche in „AssSys“ Unkräuter im Mittelpunkt der Betrachtung stehen, konzentriert sich die ökonomische Bewertung und das Benchmarking somit auf Herbizide. Als weitere für das Benchmarking in „AssSys“ relevante Kennzahlen wurden Intensitäten, Produktivitäten und der Break-Even-Point (BEP) in das Kennzahlenkonzept integriert.



**Abb. 2** Entwicklung und Anwendung des Kennzahlenkonzeptes im Projekt „AssSys“.

**Fig. 2** Development and application of the concept of economic index numbers in "AssSys".

Hierbei hat der Landwirt die Option, nochmals verschiedene Kennzahlen ins Verhältnis setzen, die bereits im Assistenzsystem erfasst wurden. *Intensitäten* zeigen dem Landwirt ein Kosten-Faktor-Verhältnis an, also z. B. die Arbeitsintensität mit den angefallenen oder geschätzten Herbizidkosten pro Wirtschaftsjahr im Verhältnis zu den angefallenen oder geschätzten Arbeitskraftstunden im Pflanzenschutz pro Wirtschaftsjahr. Eine im Vergleich zur letzten Behandlung höhere Arbeitsintensität zeigt z.B. entsprechend eine weniger optimal geplante oder durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahme an. D.h. je mehr Arbeitsstunden in der Pflanzenschutzmaßnahme enthalten sind, desto arbeitsintensiver ist diese. Eine geringe Anzahl von Arbeitsstunden oder niedrigere Herbizidkosten wirken sich positiv auf die Arbeitsintensität aus. Als weitere wichtige Kennzahl im Benchmarking dient die *Produktivität*, welche ein Nutzen-Faktor-Verhältnis anzeigt, also z. B. die Arbeitsproduktivität mit der angefallenen oder geschätzten PSKfl im Verhältnis zu den angefallenen oder geschätzten Arbeitskraftstunden im Pflanzenschutz pro Wirtschaftsjahr. Je weniger Arbeitsstunden für eine Pflanzenschutzmaßnahme benötigt werden, desto arbeitsproduktiver, also optimaler ist die Pflanzenschutzmaßnahme. Weniger Arbeitsstunden oder höhere PSKfl beeinflussen die Arbeitsproduktivität positiv. So kann man beispielsweise nur die Produktivität der Weizenerzeugung betrachten und ökonomisch miteinander vergleichen. Hierbei wird der erzielte Ertrag ins Verhältnis zu den angefallenen Herbizidkosten gesetzt. Je weniger Herbizidkosten ins Verhältnis zum Ertrag gesetzt werden, desto höher ist die Produktivität der

Weizenerzeugung. Ist die Kennzahl höher als im letzten Anbaujahr, hat der Landwirt seine Maßnahme optimiert.

Des Weiteren wird der Break-Even-Point als Kennzahl in den „AssSys“ Benchmarking-Webservice integriert. Dieser gibt denjenigen Punkt an, an dem der Wert der eingesparten Pflanzenschutzmittel den zusätzlichen Arbeitskosten (z. B. für Bonituren) entspricht und erlaubt somit eine Aussage über die Mindesteinsatzfläche, die der Landwirt teilflächenspezifisch applizieren muss, damit sich die Behandlung unter den jeweils vorliegenden Bedingungen lohnt. Der BEP wird über den Quotienten der jährlichen Technikkosten (Pflanzenschutzspritze) und den Wert der PSM-Einsparung je Hektar abzüglich der Arbeitskosten je Hektar errechnet (LETTNER et al., 2001). Bei der Berechnung der Mindesteinsatzfläche wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse angenommen, dass mögliche Herbizideinsparungen zwischen 30 und 70 % gegenüber einer schlageinheitlichen Applikation liegen (LETTNER et al., 2001).

$$BEP = \frac{KT}{E - KA}$$

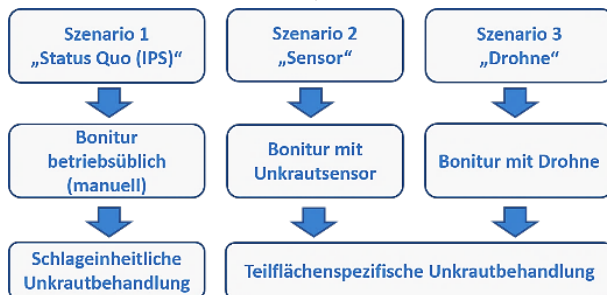
wobei  $K_T$  = Technikkosten pro Jahr;  
 $K_A$  = Arbeitskosten pro ha;  
 $E$  = Wert der PSM-Einsparung pro ha.

In Abbildung 2 sind die für den Benchmarking-Webservice relevanten Kennzahlen aufgeführt. Der Vergleich von ökonomischen Kennzahlen von Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgt beim internen Benchmarking über verschiedene Jahre, in der gleichen Kultur, auf einem vergleichbaren Schlag. Da beim externen Benchmarking ein Vergleich des eigenen Betriebes mit anderen am Benchmarking-Prozess teilnehmenden Betrieben stattfindet, können genau wie beim internen Benchmarking jeweils schlageinheitliche mit teilflächenspezifischen Pflanzenschutzmaßnahmen miteinander verglichen werden. Beim externen Benchmarking kann der Vergleich um die gleichen Jahre in der gleichen Kultur (z. B. Kosten einer Pflanzenschutzmaßnahme im Winterweizen 2018 in zwei verschiedenen Betrieben) erweitert werden. Nutzt ein Landwirt das Assistenzsystems zu einer Ex-Post-Analyse, dann könnte beispielsweise ein Vergleich der Arbeitsintensität oder Weizenproduktivität mit einem anderen Betrieb in demselben Weizenanbaujahr Hinweise auf Optimierungspotential für den eigenen Betrieb liefern.

Für die *ökonomische Gesamtbewertung des Assistenzsystems* bzw. einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem werden als Kennzahlen die Erlöse (auf Basis der Erträge aus den Feldversuchen bzw. aus historischen Ertragsdaten vergleichbarer Schläge), variable Kosten eines Pflanzenbauverfahrens und daraus resultierende Deckungsbeiträge festgelegt. Da nur ein Teil der für die ökonomische Gesamtbewertung notwendigen Kennzahlen in den Feldversuchen erhoben wird, wurden ergänzend zu den Feldversuchen (Applikations-)Szenarien und ein Modellbetrieb entwickelt. Die Szenarien unterscheiden sich insbesondere in ihren Annahmen zur Ausbringungstechnik und den eingesetzten Boniturmethode, da diese für das zu bewertende Assistenzsystem und die teilflächenspezifische Applikation ausschlaggebend sind (Abb. 3). Das erste Szenario repräsentiert den Status quo mit einer aktuell betriebsüblichen Variante der Unkrautbekämpfung nach der JKI-Leitlinie zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau (FREIER et al. 2014), ohne Einsatz des Assistenzsystems „AssSys“.

Im ersten Szenario wird eine schlageinheitliche Behandlung mit Herbiziden durchgeführt, während im zweiten und dritten Szenario jeweils teilflächenspezifische Behandlungen je nach Unkrautvorkommen, Dichte sowie ihrer räumlichen Verteilung durchgeführt werden. Die teilflächenspezifische Behandlung basiert dabei auf Applikationskarten mit automatisierten Software-Auswertungen des Sensors in Szenario 2 (online), oder Drohnenaufnahmen mit Bildauswertung durch einen Dienstleister in Szenario 3 (offline). Applikationskarten liefern beispielsweise Vorschläge für zu behandelnde Teilflächen oder markieren Bereiche mit Abstandsaufgaben bzw. Zonen, die nicht behandelt werden dürfen. Aufgrund der dann möglichen selektiven Unkrautbekämpfung werden bei der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung in Szenario 2 und 3 nur Frühjahrsbehandlungen berücksichtigt. Die Ausbringung der Herbizide wird in diesen Szenarien durch das Assistenzsystem „AssSys“ unterstützt. Die Kosten der Herbizide und die Arbeiterledigungskosten basieren bei der Berechnung im zweiten und dritten Szenario auf den

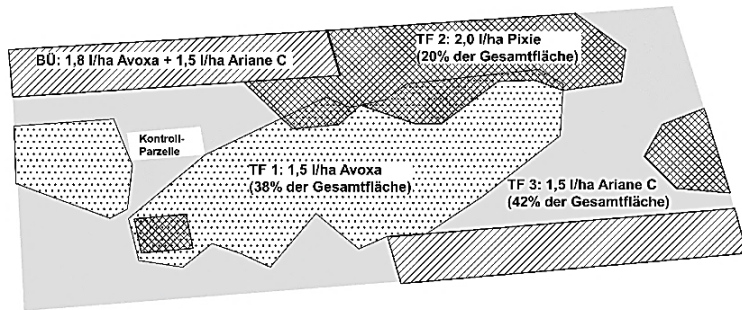
Ergebnissen der Feldversuche. In Szenario 1 wird entsprechend dem betriebsüblichen Standard eine Pflanzenschutzanhängespritze (27 m Breite, 4.000 l Tankvolumen, 83 kW) mit einer Kammer verwendet, während in Szenario 2 und 3 jeweils eine DIS-Anhängespritze (27 m, 6.000 l, 70 kW) mit 2 Kammern angenommen wird. Da die Kosten der Nachrüstung aufgrund der noch nicht erfolgten Serienproduktion einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem verhältnismäßig hoch sind, werden diese für den Jobrechner und die Pflanzenschutzspritze separat betrachtet. Der Jobrechner wird je Gerät und Zusatzausstattung für teilflächenspezifischen Pflanzenschutz, Aussaat und Bodenbearbeitung benötigt (KLOEPFER, 2011). Um die Kosten nicht zu unterschätzen, werden jeweils die teuersten Ausführungen berücksichtigt (z.B. KLOEPFER, 2011, DUNEKACKE, 2019). In Szenario 2 werden für die Berechnung der Kosten der Unkrautbonitur die jährlichen Kosten der Sensor-Nutzung kalkuliert. Da in Szenario 1 die Unkrautbonitur manuell erfolgt, fallen hier keine zusätzlichen Technikkosten an. Die jährlich anfallenden Kosten der Technikinvestition werden unter Berücksichtigung von üblichem Hosting Service-Umfang, Programmpflege und Anwender-Support berechnet. Der zur Berechnung aller Szenarien zugrunde gelegte Modellbetrieb liegt in Niedersachsen und ist ein Marktfruchtbetrieb. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 9,7 °C, die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt 626 mm. Es handelt sich um einen Boden aus schluffigem Lehm mit durchschnittlich 60 Bodenpunkten (im Mittel der Schläge). Die Fruchtfolge des Betriebs setzt sich aus Raps, Winterweizen und Winterweizen bzw. Wintergerste zusammen und repräsentiert damit eine für die Region typische Fruchtfolge. Auf dem Betrieb werden mindestens 100 ha teilflächenspezifisch mit Pflanzenschutzmitteln behandelt und der Mindesteinsatzumfang der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung liegt jeweils bei einem Drittel des Schlags. Es wird vorausgesetzt, dass der Landwirt des Modellbetriebes bereits Erfahrung mit einem GPS-Traktor bzw. mit einem Terminal hat, bereits eine digitale Ackerschlagdatei verwendet, Ertragskartierung mit dem Mähdrescher vornimmt und ein Parallelfahrssystem nutzt.



**Abb. 3** Schematische Darstellung der untersuchten Applikations-Szenarien.

**Fig. 3** Schematic visualization of the investigated application-scenarios.

Die vorliegende ökonomische Bewertung der Feldversuche bezieht sich auf das Wirtschaftsjahr 2018. Dabei wurden die entsprechenden Herbizide in Abhängigkeit von den bei der Bonitur identifizierten Leitunkräutern, deren Entwicklungsstadien und Preisen ausgewählt und mit Hilfe von Applikationskarten ausgebracht. Es wurden Feldversuche von drei verschiedenen Standorten ausgewertet (Sicke, Osterwieck und Cappeln). Aus Gründen der Datenverfügbarkeit können nachfolgend lediglich die Ergebnisse zur Versuchsfläche „Sicke“ (Landkreis Wolfenbüttel) vorgestellt werden.



**Abb. 4** Applikationskarte der Versuchsfläche „Sicke“ in 2018 (TF 1-3 = Teilflächen; BÜ = Betriebsübliche Behandlung mit Herbiziden entspricht 100 % der Fläche; Quelle: POHL, WELLHAUSEN, 2019).

**Fig. 4** Application map of experimental site „Sicke“ in 2018 (TF 1-3 = area of site-specific treatment; BÜ = conventional treatment corresponding to 100% of the area; source: POHL, WELLHAUSEN, 2019).

## Ergebnisse

In der teilflächenspezifischen Variante in Sicke wurden insgesamt drei Teilflächen behandelt. Die Schlaggrößen der Teilflächen variierten in Sicke zwischen 0,83 ha und 1,63 ha, die Gesamtgröße der Teilschläge (teilflächenspezifische Variante) betrug 3,96 ha. Bei der betriebsüblichen Variante lag die Schlaggröße bei 0,8 ha. Die Kennzahlen wurden jeweils in Angaben pro ha umgerechnet.

Die Applikationskarte in Abbildung 4 zeigt die betriebsübliche Variante (BÜ), 3 Teilflächen (TF 1 bis TF 3) und eine Kontrollparzelle (ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln). In der betriebsüblichen Variante wurden die Herbizide Avoxa (1,8 l pro Hektar) und Ariane C (1,5 l pro Hektar) als Tankmischung jeweils auf 100 % der Fläche ausgebracht. Dadurch fällt bei der betriebsüblichen Variante auch nur eine Überfahrt an. Anhand des bonitierten Unkrautvorkommens wurden die Teilflächen TF 1, TF 2 und TF 3 beispielhaft für eine teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden ausgewählt (Abb. 4). In Sicke wurde im Frühjahr 2018 auf der TF 1 das Herbizid Avoxa (1,5 l pro Hektar), auf der TF 2 das Herbizid Pixie (2 l pro Hektar) und auf der TF 3 das Herbizid Ariane C (1,5 l pro Hektar) ausgebracht. Auf TF 1 wurde auf 38 % der Gesamtfläche appliziert, auf TF 2 wurden 20 % der Fläche behandelt und auf TF 3 42 % der Fläche. Die ersten Ergebnisse einer exemplarischen Berechnung der Kennzahlen „Herbizidkosten“, „Herbizidkostenfreie Leistung“ (HKfL) und „Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung“ (HBKfL) auf Basis der Feldversuche in Sicke werden in Tabelle 1 dargestellt.

**Tab. 1** Herbizidkosten, Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung bei der teilflächenspezifischen (TF) und betriebsüblichen Behandlung (BÜ) in Sicke 2018.

**Tab. 1** Herbicide costs, herbicide- and monitoring cost free revenues in site-specific and standard application at Sicke in 2018.

Kennzahl	TF*	BÜ**	Differenz TF-BÜ
	€ je ha	€ je ha	
Herbizidkosten mit Arbeiterledigungskosten	53,07	113,73	60,66
HKfL*** mit Arbeiterledigungskosten	1.132,26	1.039,63	92,63
HBKfL**** (mit Arbeiterledigungskosten)	1.115,12	1.031,69	83,43

\*TF: Teilflächenspezifische Behandlung, \*\*BÜ: betriebsübliche Behandlung= schlageinheitlich, \*\*\*HKfL: Herbizidkostenfreie Leistung, \*\*\*\*HBKfL: Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung

Am Standort Sicke betragen die Herbizidkosten mit Arbeits- und Maschinenkosten (Arbeiterledigungskosten) der Überfahrten für die teilflächenspezifische Behandlung 53 € je ha (Tab. 1). In der betriebsüblichen Behandlung liegen die Herbizidkosten bei 114 € je ha. Der Vergleich der Kennzahl „Herbizidkosten“ „teilflächenspezifisch“ zu „betriebsüblich“ führt damit zu einer Ersparnis von 61 € je ha. Bei der HKfL entsteht ein Vorteil von 93 € je ha durch die teilflächenspezifische Behandlung. Die HBKfL beträgt einschließlich Arbeits- und Maschinenkosten

der Überfahrten sowie der Bonituren und Anfahrten 1.115 € je ha für die teilflächenspezifische Variante bzw. 1.032 € je ha für die betriebsübliche. Damit ergibt sich für die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden in dem exemplarischen Feldversuch ein ökonomischer Vorteil von 83 € je ha. Somit zeigt sich, dass für unsere exemplarische Berechnung der ökonomischen Kennzahlen anhand der Feldversuche auf einem Schlag in Sickte im Jahr 2018, die teilflächenspezifische Behandlung mit Herbiziden im Vergleich zur betriebsüblichen Variante wirtschaftlich vorteilhaft war.

**Tab. 2** Investitions- und Jahreskosten der Unkrautbekämpfung mit DIS-Spritze und Mehrkammersystem.

**Tab. 2** *Investment and yearly costs of herbicide measures with multi chamber direct injection sprayer.*

	<b>Kennzahl</b>	<b>Einheit</b>
Investitionssumme Jobrechner (einmalig)	7.000	€
Abschreibung (10 Jahre)	700	€ pro Jahr
Zins (bei 7 %)	297	€ pro Jahr
Jahreskosten ohne Reparatur, Wartung und Arbeitskosten	997	€ pro Jahr
Investitionssumme Mehrkammer-DIS-Spritze (einmalig)	98.000	€
Abschreibung (10 Jahre)	9.800	€ pro Jahr
Zins (bei 7 %)	4.153	€ pro Jahr
Jahreskosten ohne Reparatur, Wartung und Arbeitskosten	13.953	€ pro Jahr

In Tabelle 2 sind zunächst die Kosten der technischen Ausstattung der Unkrautbekämpfung mit Hilfe eines Jobrechners bzw. im Anschluss (ab Zeile 5) einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem zusammengefasst. In der ersten Zeile ist die erforderliche Investitionssumme zur Nachrüstung eines Jobrechners dargestellt. Sie beläuft sich auf 7.000 Euro. Aufgrund des zu erwartenden technischen Fortschrittes erfolgt die Abschreibung des Jobrechners auf 10 Jahre mit einer jährlichen Summe von 700 Euro. Die jährlichen Zinskosten von 297 Euro in Zeile 3 bei einem Kalkulationszinsfuß von 7 % ergeben sich aus der Differenz der Jahreskosten in Zeile 4 und der Abschreibung aus Zeile 2. Die Jahreskosten wurden nach der Annuitätenformal ohne Reparatur-, Arbeits- und Wartungskosten berechnet und betragen für die gewählten Rahmenbedingungen 14 % der Investitionssumme. In der fünften Zeile ist die erforderliche Investitionssumme zur Nachrüstung einer 27 m DIS-Spritze mit Mehrkammersystem dargestellt. Sie beläuft sich auf 98.000 Euro, was darauf zurückzuführen ist, dass es sich bisher um einen Prototyp handelt. Aufgrund des zu erwartenden technischen Fortschrittes erfolgt die Abschreibung der Pflanzenschutzspritze ebenfalls auf 10 Jahre mit einer jährlichen Summe von 9.800 Euro. Die jährlichen Zinskosten von 4.153 Euro in Zeile 7 bei einem Kalkulationszinsfuß von 7 % ergeben sich aus der Differenz der Jahreskosten in Zeile 8 und der Abschreibung aus Zeile 6. Die Jahreskosten wurden wie beim Jobrechner nach der Annuitätenformal ohne Reparatur-, Arbeits- und Wartungskosten berechnet und betragen für die gewählten Rahmenbedingungen ebenfalls 14 % der Investitionssumme.

**Tab. 3** Mindesteinsatzfläche der teilflächenspezifischen Applikation bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners und einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem (basierend auf Einsparungen in den Feldversuchen).

**Tab. 3** *Minimum application area of site-specific application with yearly technical cost of a job computer and multi chamber direct injection sprayer (based on savings from field trials).*

<b>Arbeitskosten</b>	<b>Mindesteinsatzfläche bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners von 997 €</b>	<b>Mindesteinsatzfläche bei jährl. Technikkosten einer DIS-Pflanzenschutzspritze von 13.953 €</b>
€ je zusätzliche Arbeitsstunde	ha	ha
20 (n = 1 h)	30,63	428,67
40 (n = 2 h)	79,45	1.111,84
60 (n = 3 h)	.*	-

\*nicht dargestellt, da negativer Wert.

Um zu zeigen, ab wann die teilflächenspezifische Applikation unter den gegebenen Bedingungen für einen Landwirt lohnenswert ist, wird nachfolgend die Mindesteinsatzfläche bestimmt (Tab. 3). Die Mindesteinsatzfläche ist abhängig von den angenommenen Technikkosten für den



verwendeten Jobrechner bzw. der angenommenen Pflanzenschutzspritze und den (zusätzlichen) Arbeitsstunden, beispielsweise für besonders umfängliche Bonituren zur Vorbereitung einer teilflächenspezifischen Applikation oder zur Datenauswertung der Bonituren. Die Mindesteinsatzfläche lässt sich am Beispiel Sickte mit Hilfe der durchschnittlichen Einsparung an Herbiziden der 3 Teilflächen, die 53 % beträgt, berechnen. Bei entsprechend eingesparten Herbiziden, jährlichen Technikkosten eines Jobrechners von 997 € und bis zu zwei zusätzlichen Arbeitsstunden, ergeben sich Mindesteinsatzflächen für Sickte zwischen 31 und 79 ha (Tab. 3). Bei 53 % eingesparten Herbiziden und jährlichen Technikkosten einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem von 13.953 €, ergeben sich bei *einer* zusätzlichen Arbeitsstunde 429 Hektar als mindestens zu bearbeitende Teilfläche. Bei einer höheren Anzahl an (zusätzlichen) Arbeitsstunden und damit verbundenen höheren Arbeitskosten steigt die Mindesteinsatzfläche auf > 1.000 Hektar an und ist damit sehr hoch.

Um weitere Ergebnisse zu potentiellen Mindesteinsatzflächen der teilflächenspezifischen Applikation mit den vorhandenen Ergebnissen aus den Feldversuchen vergleichen und mögliche Grenzen identifizieren zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse mit ergänzenden hypothetischen Herbizid-Einsparungen aus der Literatur (30 %, 50 % und 70 %; siehe LETTNER et al., 2001) herangezogen. Als Bezugswert der Ganzflächenapplikation wurde zunächst auch hier der in Sickte ermittelte Wert der betriebsüblichen Behandlung für die applizierten Herbizide eingesetzt.

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, liegt die Mindesteinsatzfläche, je nach der erreichten Einsparung an Herbiziden und Technikkosten des Jobrechners bei einer zusätzlichen Arbeitsstunde für Boniturmaßnahmen im Winterweizen bei 20 bis 102 ha. Ab zwei zusätzliche Arbeitsstunden lohnt sich eine teilflächenspezifische Behandlung unter den gegebenen Bedingungen bei 30 % Einsparung nicht mehr (Tab. 4).

**Tab. 4** Mindesteinsatzfläche der teilflächenspezifischen Applikation bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners und einer DIS-Spritze mit Mehrkammersystem (basierend auf Literatur-Ergebnissen).

**Tab. 4** *Minimum application area of site-specific application with yearly technical cost of a Job Calculator and multi chamber direct injection sprayer (based on literature results).*

Bei jährl. Technikkosten eines Jobrechners von 997 €	30 % eingesparte Herbizide	50 % eingesparte Herbizide	70 % eingesparte Herbizide
Arbeitskosten in € je zusätzliche Arbeitsstunde	ha	ha	ha
20 (n = 1 h)	102,31	33,71	20,18
40 (n = 2 h)	.*	104,13	33,91
60 (n = 3 h)	-	-	106,01
Bei jährl. Technikkosten einer DIS-Pflanzenschutzspritze von 13.953 €			
Arbeitskosten in € je zusätzliche Arbeitsstunde	ha	ha	ha
20 (n = 1 h)	1.431,81	471,78	282,42
40 (n = 2 h)	-	1.457,23	474,51
60 (n = 3 h)	-	-	1.483,57

\*nicht dargestellt, da negativer Wert.

Werden 50 % eingespart, so sind auch zwei zusätzliche Arbeitsstunden noch rentabel, bei 70 % Einsparung führen sogar drei zusätzliche Arbeitsstunden noch zu einem positiven Ergebnis. Bei 50 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde müssen 34 ha teilflächenspezifisch bearbeitet werden, bei 70 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde reichen 20 ha. Legt man die erforderliche Investitionssumme zur Nachrüstung einer 27 m DIS-Spritze mit Mehrkammersystem zugrunde (DUNEKACKE, 2019), so müssen bei 50 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde mindestens 472 ha, bei 70 % Einsparung und einer zusätzlichen Arbeitsstunde mindestens 282 ha teilflächenspezifisch bearbeitet werden. Bei 70 % Einsparung und zwei zusätzlichen Arbeitsstunden liegt die Mindesteinsatzfläche bei 475 ha. Bei 30 % und 50 % Einsparung an Herbiziden sind drei zusätzliche Arbeitsstunden unter den gegebenen Bedingungen nicht mehr lohnenswert (Tab. 4).

### Schlussfolgerungen

Die teilflächenspezifische Behandlung mit Herbiziden war im Vergleich zur betriebsüblichen Variante in 2018 für die untersuchten Kennzahlen und den betrachteten Standort wirtschaftlich vorteilhaft. Dies ist auf Kosteneinsparungen in der teilflächenspezifischen Behandlung zurückzuführen. Die Kosteneinsparungen entstehen durch eine Reduktion der Herbizide auf den einzelnen Teilflächen, die sich auf das Gesamtergebnis auswirken. In der teilflächenspezifischen Behandlungsvariante ermöglicht eine Mehrkammerspritze mit Direkteinspeisung die Ausbringung verschiedener Herbizide in einer Überfahrt. Die Mindesteinsatzfläche, die jährlich teilflächenspezifisch zu behandeln wäre, ohne einen ökonomischen Nachteil zu erfahren, liegt für den Feldversuch unter der Annahme des Einsatzes eines Jobrechners und bis zu zwei zusätzlichen Arbeitsstunden, mit 31 bis 79 Hektar durchaus im praktikablen Bereich. Da die angenommenen Investitionskosten bzw. jährlichen Technikkosten für den Prototyp der DIS-Spritze mit Mehrkammersystem verhältnismäßig hoch sind, fallen auch die Mindesteinsatzflächen entsprechend hoch aus, was beispielsweise für kleinere Betriebe nicht realisierbar wäre. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen, dass bei dem angenommenen Jobrechner z. B. bei 70 % eingesparten Herbiziden bis zu drei zusätzliche, und bei den vorausgesetzten Kosten der Mehrkammerspritze bis zu zwei zusätzliche Arbeitsstunden für Bonituren oder Datenauswertung noch wirtschaftlich sind. Werden die Kosten der notwendigen technischen Ausstattung durch Serienproduktion in absehbarer Zeit günstiger, so wird auch die Mindesteinsatzfläche kleiner, wodurch die teilflächenspezifische Applikation für eine größere Bandbreite an landwirtschaftlichen Betrieben lukrativer wird als bisher. Letztlich müssen die zusätzlichen technischen Kosten und Arbeitsstunden wieder durch Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln kompensiert werden.

## Literatur

- BARROSO, J., C. FERNANDEZ-QUINTANILLA, B. MAXWELL, L. REW, 2003: Using site specific weed management for control of wild oats in Spain: An economic evaluation. *Precision Agriculture* **4**, 47-52.
- BRITISH BEET RESEARCH ORGANISATION, 2018: Sugar Beet Reference Book, Norwich. 58 S.
- DEUTSCHES BENCHMARKING ZENTRUM, 2018: Benchmarking Vorgehensweise. [www.benchmarkingforum.de](http://www.benchmarkingforum.de), Zugriff am 20.2.2019
- DRÜCKER, H., 2018: Landwirtschaft voll digitalisiert. *LZ Rheinland* **40**, 24-26.
- DUNEKACKE, H., 2019: Schriftliche Information zu Investitionskosten einer Anhängespritze mit Mehrkammersystem und Direkteinspeisung am 6.2.2019.
- INFORMATIONSZENTRUM BENCHMARKING AM FRAUNHOFER IPK, 2018: Benchmarking. [www.izb.ipk.fraunhofer.de/index.php/de/informtionszentrum-benchmarking](http://www.izb.ipk.fraunhofer.de/index.php/de/informtionszentrum-benchmarking), Zugriff am 21.2.2019
- FREIER, B., M. PETERS, A. GUMMERT, S. GOLTERMANN, C. VON KRÖCHER, R. GÖTZ, 2014: JKI-Leitlinie zum integrierten Pflanzenschutz im Ackerbau zur Durchführung des Modell- und Demonstrationsvorhabens „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“. Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow.
- GERHARDS, R., 1997: Das System schlägt gezielt zurück. *DLZ-agrarmagazin, Sonderheft* **10**, 35-37.
- GERHARDS, R., H. OEBEL, M. SÖKEFELD, 2007: Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- (und Online-) Verfahren (TURBO). Abschlussbericht für das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: 82 S.
- GERHARDT, C., D. DONNAN, B. SUBEI, C. TUOT, A.T. KEARNEY, 2017: Mit Smart Farming mehr ernten. *Bauernzeitung, Sonderheft* **11**, 30-34.
- HINCK, S., F. KLOEPFER, G. SCHUCHMANN, 2016: Precision Farming – Bodeneigenschaften erfassen. *KTBL-Heft* **111**: 56 S.
- ISERMAYER, F., 2012: Landwirtschaftliche Produktionssysteme und ihre Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Vergleich. Johann Heinrich von Thünen-Insitut, Braunschweig: 26 S.
- KILIAN, B., 2004: Ökonomie von Precision Farming. *Precision Farming – Analyse, Planung und Umsetzung in die Praxis*. KTBL-Schrift: 419 S.
- KLOEPFER, F., 2011: Wirtschaftlichkeit von Precision Farming. Vortrag auf dem Fachtag Precision Farming, LTZ Augustenberg Außenstelle Forchheim.
- KREBS, M., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 2016: Situationsgerechte Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 232-240.
- LETTNER, J., K. HANK, P. WAGNER, 2001: Ökonomische Potenziale der teilschlagspezifischen Unkrautbekämpfung. *Berichte über Landwirtschaft* **79**, 107-139.
- NORDMEYER, H., A. ZUK, A. HÄUSLER, 2003: Experiences of site specific weed control in winter cereals. *Precision Agriculture* **4**, 457-462.
- NORDMEYER, H., 2007: Precision Farming in der Unkrautbekämpfung. *Pflanzenschutz der Zukunft*. [agarheute.com/?redid=171195](http://agarheute.com/?redid=171195), 13.7.2007.
- OEBEL, H., 2006: Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- (und Online-) Verfahren (TURBO). Dissertation, Universität Hohenheim, 176 S.
- PAUSTIAN, M., K. SCHLOSSER, M. WELLNER, L. THEUVSEN, 2015: Kennzahleneinsatz in der Landwirtschaft – Ergebnisse empirischer Untersuchungen. In: *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*. RUCKELSHAUSEN, A., H.-P. SCHWARZ, L. THEUVSEN, Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, 129-132.
- 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., C. WELLHAUSEN, 2019: Darstellung der applizierten Herbizide in den Feldversuchen 2018 mittels teilflächenspezifischer Unkrautkarten. *Unveröffentlicht*.
- RAJMIS, 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.
- ROHLEDER, B., B. KRÜSKEN, 2016: Digitalisierung in der Landwirtschaft, DBV bitkom, Berlin, 15. S.
- RÖSCH, C., M. DUSSELDORP, R. MEYER, 2007: *Precision Agriculture – Landwirtschaft per Satellit und Sensor*. Deutscher Fachverlag, Frankfurt, 215 S.
- RÖSCH, C., M. DUSSELDORP, 2007: Precision Agriculture: was innovative Technik zur nachhaltigeren Landwirtschaft beitragen kann. *GAIA* **16** (4), 272-279.
- RUHLAND, F., 2007: Roboter als Erntehelfer. Bildverarbeitung statt Bauernregeln. *Süddeutsche Zeitung online*, 20.06.2007. [www.sueddeutsche.de/computer/artikel/583/119438](http://www.sueddeutsche.de/computer/artikel/583/119438)
- SCHEIBER, M., C. FEDERLE, J. FELDHAUS, B. GOLLA, B. HARTMANN, B. KLEINHENZ, D. MARTINI, M. RÖHRIG, 2015: Automatisch auf Abstand. *DLZ-Agrarmagazin* **4**, 70-75.
- SCHWARZ, J., I. ACKERMANN, G. WARTENBERG, 1998: Ökonomische Bewertung ausgewählter Verfahren zur Unkrauterfassung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft* **16**, 325-332.
- SCHWARZ, J., G. WARTENBERG, 1999: Wirtschaftlichkeit der teilflächenspezifischen Herbizidanwendung. *Landtechnik* **54**, 334-335.
- SÖKEFELD, M., R. GERHARDS, 2004: Automatische Unkrautkartierung mit digitaler Bildverarbeitung. *Landtechnik* **59** (3), 154-155.
- STAFFORD, J.V., J.V. BENLLOCH, 1997: Machine- assisted detection of weeds and weed patches. *Precision Agriculture* **1**, 511-518.
- TAKACS-GYORGY, K., I. TAKACS, 2009: Economic Analysis of Precision Weed Management. *Cereal Research Communications* **37** (4), 585-593.
- TIMMERMANN, C., R. GERHARDS, W. KÜHBAUCH, 2003: The economic impact of site-specific weed control. *Precision Agriculture* **4**, 249-260.