

Entwicklungen im Bereich der Anwendungstechnik im Pflanzenschutz gestern, heute und morgen

Development of application techniques in plant protection in the past, today and tomorrow

276

Zusammenfassung

In Deutschland wird seit ca. 160 Jahren chemischer Pflanzenschutz betrieben. In diesem Zeitraum hat es zahlreiche technische Entwicklungen und Innovationen gegeben. Der Artikel gibt einen Überblick über die Entwicklung der Pflanzenschutztechnik in Deutschland, beleuchtet den aktuellen Stand der Technik und weist auf mögliche zukünftige Entwicklungen hin.

Stichwörter: Entwicklung, Pflanzenschutztechnik, Direkteinspeisung, teilflächenspezifische Applikation, Pulsweitenmodulation, digitale Assistenzsysteme

Abstract

Since ca. 160 years chemical plant protection is carried out in Germany. Within this timeframe many developments and innovations were established. The article gives an overview about the progress of plant protection equipment in Germany in the past, the state of the art and its possible future.

Key words: Development, plant protection equipment, direct injection, side specific application, pulse width modulation, digital assistance

Einleitung

Wie kann man eine kleine Menge Wirkstoff, ohne Abdrift auf Nicht-Zielflächen, präzise und gleichmäßig

über das ganze Feld verteilen? Dies war die dominierende Frage für die Konstruktion von Pflanzenschutzgeräten in den vergangenen Dekaden. Die Entwicklung zielte hauptsächlich auf die gleichmäßige Querverteilung und die Reduzierung der Abdrift. Erreicht wurde dies durch konstruktive Verbesserungen und Weiterentwicklungen bei der Mess- und Regelungstechnik.

Mit den Möglichkeiten, die uns heute durch die Digitalisierung und die Präzisionslandwirtschaft zur Verfügung stehen, haben sich dagegen die technologischen Optionen wesentlich vergrößert. In den letzten zehn Jahren haben diese Werkzeuge dabei geholfen, eine ganze Reihe von Funktionen an Feldspritzgeräten zu verbessern, um die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln noch präziser zu gestalten und um die damit verbundenen Risiken weiter zu senken. Trotzdem, oder gerade deshalb, unterliegt der Pflanzenschutz aktuell einem Transformationsprozess. Die aktuellen Schlüsselwörter bei den Feldspritzgeräten lauten „teilflächenspezifische Applikation“ und „Automation“. Letzteres bezieht sich nicht nur auf einzelne Funktionen, sondern auf den gesamten Prozess Pflanzenschutz.

Aber wo hat die Entwicklung des mechanisierten chemischen Pflanzenschutzes in Deutschland seinen Ursprung und wohin könnte Sie zukünftig führen? Ziel des Artikels ist es einen Bogen über ca. 160 Jahre Pflanzenschutztechnik in Deutschland zu schlagen, die technische Entwicklung in Etappen aufzuzeigen, aber auch die sich ändernden Zielsetzungen bei den Anforderungen an die Verfahrenstechnik im Pflanzenschutz darzustellen.

Affiliation

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

Kontaktanschrift

Prof. Dr. Jens Karl Wegener, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: jens-karl.wegener@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung eingereicht/angenommen

4. März 2021/21. April 2021

Rückblick: Von den Anfängen bis zur Jahrtausendwende

Die Geschichte des chemischen Pflanzenschutzes in Deutschland beginnt um 1860 mit der Bekämpfung des Echten (Oidium) und Falschen Mehltaus (Peronospora) im Weinbau, mit Kalkmilch, staubförmigem Schwefel und später Bordeaux-Brühe (GANZELMEIER, 2001). Durch Anwendung dieser ersten chemischen Pflanzenschutzmittel entstand auch die Notwendigkeit zur Entwicklung geeigneter Geräte zu deren Ausbringung (KLINGAUF, 2001). Mit der zunehmenden Verbreitung des chemischen Pflanzenschutzes im Obstbau (etwa ab 1900), im Hopfenanbau (ab ca. 1925) bis hin zum flächendeckenden chemischen Pflanzenschutz im Ackerbau (um 1950) entwickelte sich die Gerätetechnik von zunächst einfachen (rücken-)tragbaren Spritzgeräten über Karrenspritzen, Gespannspritzen bis hin zu den zapfwellenbetriebenen Spritz- und Sprühgeräten, welche durch die Motorisierung der Landwirtschaft in den 1950er Jahren ermöglicht wurden. Eine umfassendere Darstellung der historischen Entwicklung der Gerätetechnik, aber auch zur Geräteprüfung in Deutschland findet sich in GANZELMEIER (2001).

Am grundsätzlichen Aufbau der Spritz- und Sprühgeräte hat sich in den nachfolgenden Jahrzehnten wenig geändert: Spritzflüssigkeitsbehälter, Rührwerk, Pumpe, Regelung, Manometer, Leitungssystem und Filtereinrichtungen, Gestänge bzw. Gebläse und Düsen (vgl. WEGENER & VON HÖRSTEN, 2019). Die technische Entwicklung spielte sich daher eher im Detail ab. Die größte Herausforderung lag in der gleichmäßigen, flächendeckenden Behandlung der Bestände in Raum- und Flächenkulturen. Dafür spielten in den nachfolgenden Dekaden insbesondere die Verbesserungen der Düsenteknik eine Rolle. Ziel war eine gleichmäßigere Verteilung, sowie in den Flächenkulturen ruhig und exakt geführte Gestänge, die einen einheitlichen Zielflächenabstand gewährleisten und Gestängeschwingungen dämpfen (vgl. ISO; 2013)

In den 1980er Jahren gewann zunehmend die Umweltrelevanz des chemischen Pflanzenschutzes an Bedeutung. 1988 forderte das Umweltbundesamt eine neue Abstandsauflage von mindestens 20 m für Mittel mit hoher aquatischer Toxizität, woraufhin sich neben der seit Jahrzehnten durchgeführten Aufgabe der Pflanzenschutzgeräteprüfung an der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig (vgl. GANZELMEIER, 2001) ein System zur Bewertung von abdriftmindernder Technik entwickelte (vgl. RAUTMANN & STRELOKE, 2001). Daraufaufgehend stand in der Geräte- und vor allem Düsenentwicklung nun neben der Verteilungsqualität zunehmend die abdriftarme Applikation im Fokus der Entwicklung. Vorläufiger Zwischenstand dieser Entwicklung sind Geräte und Bauteile, die eine Abdriftreduzierung gegenüber den Eckwerten (GANZELMEIER et al., 1995) von bis zu 95 % erreichen (vgl. JKI, 2021).

Daneben haben sich, getrieben durch Elektronik und Automatisierung, die Möglichkeiten zur Prozessüberwachung durch den Bediener während der Applikation immer weiter verfeinert, so dass die Applikationsqualität

weiter gesteigert, der Anwenderschutz kontinuierlich verbessert und die tatsächliche notwendige Pflanzenschutzmittelmenge deutlich reduziert werden konnte.

Bis zur Jahrtausendwende haben sich nach GANZELMEIER (2001) in Deutschland am Markt folgende grundsätzliche Technologien durchsetzen können:

- Mobile Agrarcomputer in Verbindung mit elektronischen Regeleinrichtungen, Spritzmonitore
- Fernbedienung der Gerätefunktionen
- Hydraulische, elektrische Stellantriebe zur Erhöhung des Bedienkomforts
- Einspüleinrichtungen, Kanistereinspüleinrichtungen
- Geringe Restmengen, gute Entleerbarkeit, Reinigungseinrichtungen
- Düsenschnellwechseleinrichtungen
- Abdriftreduzierende Düsen

Nicht oder nur vereinzelt durchsetzen konnten sich nach GANZELMEIER (2001) dagegen Technologien wie:

- Elektrostatische Aufladung
- Rotationszerstäuber
- Direkteinspeiseverfahren
- Luftunterstützte Geräte

Entwicklungen bis zur Gegenwart

Betrachtet man heutige Feldspritzgeräte (vgl. Abb. 1), so fallen zwei Dinge auf: Am beschriebenen grundsätzlichen Aufbau hat sich nichts geändert, aber es gibt zahlreiche technische Hilfsmittel, um die Applikationsqualität, den Anwenderschutz und die Pflanzenschutzmitteleinsparungen weiter zu verbessern. Diese Verbesserungen fanden sowohl an den bekannten Bauteilen als auch in der Gesamtanpassung aller Komponenten des Systems statt.

Die heutigen Anforderungen aus der Praxis an moderne Düsen sind begründet in einer zuverlässigen und abdriftarmen Applikation bei gleichmäßiger Quer- und Längsverteilung, guter biologischer Wirksamkeit durch hohe Belagsdichten sowie ausreichender Bestandsdurchdringung auch bei höheren Fahrgeschwindigkeiten und niedrigeren Aufwandmengen (WEGENER, 2013). Mit den seit vielen Jahren in der Praxis etablierten Injektordüsen können gute Belagsdichten und biologische Wirkungen erreicht werden, gleichzeitig ist mit ihnen eine abdriftarme Applikation möglich (OSTEROTH, 2013). Neue Baureihen zeichnen sich durch einen weiten Druckbereich aus, in denen sich das Tropfenspektrum im Vergleich zu anderen Düsentypen stärker verändert (HERBST et al., 2012; WEGENER, 2013). Somit kann auch ohne Düsenwechsel eine verbesserte Anpassung der Wasseraufwandmenge und Fahrgeschwindigkeit an die jeweiligen Applikationsbedingungen ermöglicht werden. Mit der neuen Klasse der Injektor Doppelflachstrahldüsen in symmetrischer und asymmetrischer Ausführung können in speziellen Anwendungsgebieten (Ährenbehandlung, Kartoffelbau,

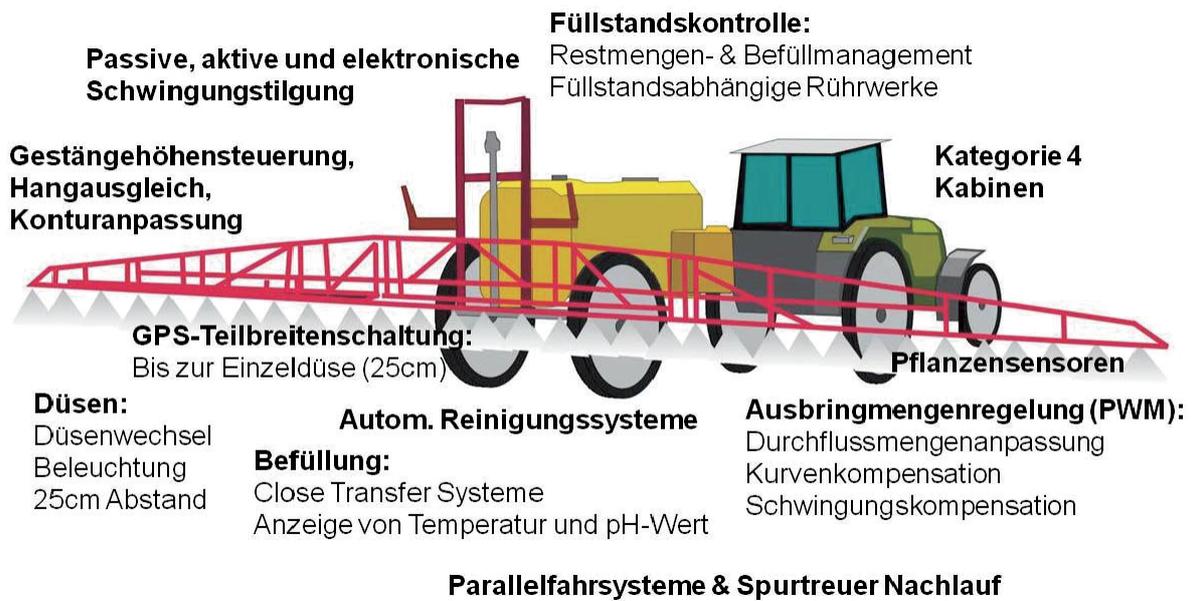


Abb. 1. Komponenten eines modernen Pflanzenschutzgerätes.

frühe Herbizidmaßnahmen) und bei höheren Fahrgeschwindigkeiten zudem gleich gute oder bessere Belagsdichten und Wirkungen erzielt werden (OSTEROTH, 2013). Das hinsichtlich der Abdriftminderung bis heute viel erreicht wurde, zeigt das Verzeichnis „Verlustmindernde Geräte“, das nach aktuellem Stand 624 Eintragungen für den Ackerbau aufweist (vgl. JKI, 2021).

Möglichkeiten der Abdriftreduzierung werden von den Herstellern zunehmend auch losgelöst von der Düsenteknik bearbeitet, z. B. durch Geräte mit verringertem Düsenabstand von 25 cm statt 50 cm. Mit dieser Konstellation kann der Zielflächenabstand zwischen Gestänge und Bestand verringert werden, was ebenfalls die Abdriftanfälligkeit der Applikation vermindern kann (WEGENER, 2013).

Beleuchtungseinrichtungen an den Gestängen helfen verstopfte Düsen zu erkennen, insbesondere bei der Durchführung von Applikationsmaßnahmen während der Dämmerung oder im Dunkeln, wenn die Witterungsbedingungen für sachgerechten Pflanzenschutz i. d. R. besser als tagsüber sind. Noch komfortabler sind Düsenmonitore, welche die Verunreinigungen von Düsen sofort über die sensorische Überwachung der Durchflussmenge melden und auch die Position der Düse im Gestänge identifizieren können. Zudem können sie dem Anwender auch das Tropfenspektrum der Düse unter den aktuellen Druckbedingungen anzeigen (WEGENER, 2018). Die Automatisierung ermöglicht einen weiteren Gewinn an Komfort. So kann der Düsenwechsel z. B. für das Zuschalten einer Randdüse oder die abdriftmindernde Applikation im Randbereich bequem per Knopfdruck aus der Kabine gesteuert werden.

Neue Technologien wie die Pulsweitenmodulation (PWM), bei der die Durchflussmenge jeder einzelnen Düse in großen Bereichen variabel verstellt werden kann,

ermöglichen die Realisierung verschiedener Ausbringungsmengen bei annähernd gleichem Druck und gleicher Tropfengröße mit nur einem Düsenkaliber (WEGENER, 2020a). Erreicht wird dies durch hochfrequentes An- und Ausschalten der Düsen, wobei die Länge der Einschaltzeit (Pulsweite) die Durchflussmenge bestimmt. Aktuelle Systeme arbeiten mit 15 bis 50 Hz. Die PWM ermöglicht darüber hinaus weitere Funktionen wie die Anpassung der Aufwandmenge innerhalb der Teilbreiten bei Kurvenfahrten (Kurvenkompensation) bis hin zum durchflussmengengesteuerten Ausgleich von Schwingungen im Gestänge durch die Durchflussmengenregelung einer jeden einzelnen Düse. Das JKI hat mittlerweile mehrere Düsen/PWM-System Kombinationen geprüft und anerkannt (AT, 2019).

Viel getan hat sich auch bei den Gestängen. Sensoren messen kontinuierlich den Abstand zum Boden und zum Bestand, regeln vollautomatisch die Gestängehöhe, den Hangausgleich und können z. T. auch die Gestängekontur an die Bodentopographie durch Segmentverstellung anpassen. Das entlastet den Anwender von Steuerungsaufgaben und hilft dabei, die Rahmenbedingungen für eine optimal geführte Anwendung zu verbessern (WEGENER, 2013; 2018). Assistenzsysteme unterstützen den Anwender durch vollautomatische Hangsteuerung bei der präzisen Spurführung von Anhängerspritzen auch unter schwierigen Einsatzbedingungen. Die Teilbreitenschaltung funktioniert automatisch über das GPS-Signal mit schaltbaren Teilbreiten bis hinunter zur Einzeldüse. Dadurch werden nicht nur pflanzenschädliche Doppelbehandlungen minimiert, sondern auch Pflanzenschutzmittel eingespart. Auch bereits bekannte Funktionalitäten wie das Restmengen- und Befüllmanagement wurden weiter verbessert und mit elektronischer Assistenz versehen (WEGENER, 2013). Die Rührwerke arbeiten in

Abhängigkeit vom Füllstand mit unterschiedlicher Intensität, um die Homogenität der Spritzbrühe in allen Situationen sicherzustellen. Dies gilt auch für die Befüllung. Sensoren zur Bestimmung von Wassertemperatur und pH-Wert helfen dabei, die Mischbarkeit von Produkten besser einzuschätzen, so dass es bei der Befüllung von Tankmischungen mit unterschiedlichen Mischungspartnern nicht zu ungewollten Reaktionen kommt. Close Transfer Systeme (KEMMERLING et al., 2018; IMMENROTH et al., 2019) ermöglichen zudem für den Anwender eine nahezu kontaktfreie Befüllmöglichkeit durch ein System von Adaptern und speziell dafür geeigneten Pflanzenschutzmittelbindern. Die Anwendersicherheit wird dadurch erheblich erhöht.

Um Punkteinträge von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer sowie phytotoxische Schäden bei Mittel- bzw. Kulturwechsellern zu vermeiden, kommt es auf eine effektive Innen- und Außenreinigung der Spritzgeräte an (vgl. WEHMANN, 2016). Auch hier spielen Assistenzsysteme mittlerweile eine bedeutende Rolle. Die automatische Gerätereinigung kann heute vom Schleppersitz aus gestartet werden und bietet unterschiedlich intensive Programme für jede Anforderung. Für eine gute Reinigung sind aber auch konstruktive Merkmale von Bedeutung. Hier geht es z. B. um kürzere Leitungen und optimale Behälterformen, um technische Restmengen zu minimieren. Auch die Oberflächenrauigkeit der verwendeten Materialien spielt eine Rolle, weswegen einige Hersteller u. a. auf Edelstahlbehälter setzen (EIKEL, 2013). Dass diese Bestrebungen zielführend sind, haben Untersuchungen des JKI aufzeigen können (HERBST et al., 2012). Mit Pflanzenschutzmittelrestkonzentrationen von 0,01 bis 0,04 % werden geltende Standards von den heutigen Geräten weit unterschritten.

In Sachen Anwenderschutz gibt es sowohl bei Selbstfahrern als auch zunehmend bei Traktoren Kabinen der Kategorie 4, die neben einem Grobstaubfilter zusätzlich einen Hepa- und einen Aktivkohlefilter besitzen. Damit kann der Anwender während der Applikation von Pflanzenschutzmitteln auf die persönliche Schutzausrüstung verzichten, da die Kabine selbst einen ausreichenden Schutz bietet.

Dass die Entwicklung trotz dieses hohen technischen Niveaus weitergeht, zeigen aktuelle Lösungen: In vielen Feldkulturen werden die Fahrgassen für spätere Pflegearbeiten bereits bei der Aussaat durch das Weglassen von Drillreihen gezielt angelegt. Weil dort keine Kulturpflanzen stehen und außerdem die Gefahr des Run-off von Pflanzenschutzmitteln auf dem unbewachsenem Boden am größten ist, empfiehlt es sich, die Fahrgasse bei der Applikation auszusparen (Abb. 2). Mit der Fahrgassenschaltung, einer flexiblen Lösung für unterschiedliche Spur- und Reifenbreiten, kann der Pflanzenbestand rand-scharf zur Fahrgasse behandelt und die Spur sauber ausgelassen werden (BRÖRING & VON HÖRSTEN, 2019). Das System kann per Knopfdruck ein- und ausgeschaltet werden. Je nach praxisüblichen Reifen- und Arbeitsbreiten sind damit Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln in Höhe von etwa 3–5 % möglich.

Vor dem Hintergrund einer nachhaltigeren Produktion aber auch dem Wegfall von Wirkstoffen findet auch die Kombination von Bandspritzung und mechanischer Unkrautbekämpfung wieder mehr Beachtung. In der Vergangenheit wurden diese Verfahren „Hacken“ und „Spritzen“ in einer Maschine miteinander kombiniert. Weil aber die idealen Einsatzzeitpunkte beim Hacken – warm, windig und trocken – im Kontrast zum Spritzen – bedeckt und windstill – stehen, bieten einige Hersteller Lösungen zur Verfahrenstrennung an. Dabei übernimmt die klassische Feldspritze auch die Bandspritzung (vgl. WEGENER, 2020a). So kann mit dem Feldspritzgerät wahlweise die gesamte Fläche oder eben nur die Bänder von Reihenkulturen behandelt werden. Die Anschaffung einer separaten Bandspritzeinrichtung entfällt damit und die Verfahren Hacken und Spritzen können zum jeweils optimalen Zeitpunkt voneinander getrennt durchgeführt werden.

Der Blick in die Zukunft

Der Pflanzenschutz steht in der aktuellen Situation stärker denn je vor vielfältigen Herausforderungen. Auf der einen Seite stehen die gesellschaftliche Kritik und die daraus resultierenden politischen Entscheidungen, welche die Möglichkeiten des chemischen Pflanzenschutzes durch den zunehmenden Wegfall von einzelnen Pflanzenschutzmitteln und ganzen Wirkstoffgruppen beschränken und die Minimierung der Aufwandmengen auf das absolut notwendige Maß einfordern. Auf der anderen Seite stehen jedoch auch große technische Möglichkeiten.

Bislang konnte man die Leitfrage bei der Konstruktion von Pflanzenschutzgeräten folgendermaßen beschreiben: „Wie verteilt man einen Esslöffel voll Wirkstoff möglichst gleichmäßig auf einem Hektar Fläche?“ Wie bereits ausgeführt, hat die Landtechnikindustrie hier im Verlauf der Dekaden beeindruckende technische Lösungen gefunden. Die neue Leitfrage lautet nun: „Wie verteilt man eine Messerspitze voll verschiedener Wirkstoffe, unabhängig voneinander, nur auf die Stellen, wo tatsächlich eine individuell festgelegte Schadschwelle überschritten wird?“ Diese gewollt ungleichmäßige Verteilung erfordert Lösungen zur teilflächenspezifischen Applikation und eine stringente Anwendung des Schadschwellenprinzips.

Erste Ansätze zur teilflächenspezifischen Applikation sind bereits auf dem Markt. So gibt es z. B. seit mehreren Jahren Systeme zur Unkrauterkenntung mit „Gründetektoren¹“, die bei der Ausbringung von Totalherbiziden auf dem Stoppelacker bei pfluglosen Bewirtschaftungsformen eingesetzt werden können. Diese sind in der Lage durch Spot Applikation erhebliche Mengen an Pflanzenschutzmitteln einzusparen. Leider lassen sich diese Systeme nur für diesen einzigen Einsatzzweck nutzen und sind aufgrund der aufwändigen Sensortechnik vergleichsweise teuer, so dass sie in Deutschland kaum eine Rolle

¹Sensoren, die in der Lage sind die Fluoreszenz von Chlorophyll zu messen und damit Pflanzen von nacktem Boden oder bereits abgestorbenem Pflanzenmaterial unterscheiden können.



Abb. 2. Aussparung der Fahr-gasse bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln durch eine Fahrgassenabschaltung.

spielen (WEGENER, 2018). Neuere Lösungen arbeiten in der Regel mit kamerabasierten Sensoren zur Unkrauterkennung in Pflanzenbeständen, um eine Entscheidung zu treffen, ob teilflächig appliziert wird oder nicht (WEGENER, 2020a). Weitere Lösungen liegen in einer dualen Applikation in Reihenkulturen durch Zweiteilung des Spritzsystems. Dabei kann der Zwischenreihenbereich (z. B. mit einem Herbizid) unabhängig vom Reihenbereich (z. B. mit einem Fungizid) behandelt werden (WEGENER, 2020a). Neben diesen online-Ansätzen zur teilflächenspezifischen Applikation werden vermehrt auch UAV (Unmanned Aerial Vehicles) zur Erkennung von Unkräutern im offline-Verfahren vor der eigentlichen Applikation eingesetzt (WEGENER, 2020a). Diese arbeiten auf Basis von Hyperspektralbildern sowie Bildanalyseverfahren mit selbstlernenden Algorithmen, um über die Erzeugung von Applikationskarten eine kleinräumige Bekämpfung unerwünschter Unkräuter zu ermöglichen. Dadurch entsteht zwar ein zusätzlicher Arbeitsschritt; die Problematik unkalkulierbarer Restmengen bei der online-Variante entfällt aber. Mit solchen Systemen lässt sich wahlweise ein Pflanzenschutzmittel oder eine Tankmischung teilflächenspezifisch ausbringen.

Eine „saubere“ teilflächenspezifische Applikation wird dagegen erst durch die Kombination von Methoden zur

Erzeugung von Applikationskarten und Pflanzenschutzgeräten mit Direkteinspeisung möglich, weil dann auch die Restmengenproblematik entfällt. Die Grundidee der Direkteinspeisung im Pflanzenschutz ist über 30 Jahre alt, eine erste praxistaugliche Lösung (vgl. WEGENER et al., 2016; POHL et al., 2017; 2018; 2021a) kam jedoch erst 2017 auf den Markt. Bei der Direkteinspeisung wird das Pflanzenschutzmittel erst unmittelbar vor der Applikation mit Wasser zur gewünschten Aufwandmenge vermischt. Sie hat zudem den Vorteil, dass mehrere Mittel unabhängig voneinander ausgebracht werden können. Das bedeutet, dass auf einem Schlag unterschiedliche Schaderreger in einer Überfahrt behandelt werden können. Während Geräte zur Direkteinspeisung marktverfügbar sind, wird an den Lösungen zur praxisreifen Schaderregerdetektion noch gearbeitet. Diese sind erforderlich, um digitale Applikationskarten für die Geräte mit Direkteinspeisung zu ermöglichen. Dass der Ansatz prinzipiell funktioniert, zeigen Arbeiten von POHL et al. (2020a; 2020b) und WELLHAUSEN et al. (2020).

Eine weitere bedeutende Entwicklung für die Zukunft des Pflanzenschutzes liegt in digitalen Assistenzsystemen, welche den Anwender durch den gesamten komplexen Prozess des Pflanzenschutzes – von der Planung über die Arbeitsvorbereitung, Applikation, bis zur Doku-

mentation – begleitet, Entscheidungen unterstützt und ihm zudem bei der Einhaltung aller gesetzlichen Vorgaben hilft (POHL et al., 2020a; 2020b). Auch die automatisierte Erstellung von Applikationskarten für die teilflächenspezifische Behandlung auf Grundlage von sensorgestützten Unkrautbonituren sowie einer prognosegestützten Erkennung von pilzlichen Schaderregern ist Teil solcher Assistenzsysteme. In der nachfolgenden Abbildung 3 sind die Komponenten eines solchen Systems dargestellt.

Zentraler Baustein des Systems ist eine Web-GIS Anwendung, in der Informationen aus verschiedenen bereits vorhandenen oder in der Entwicklung befindlichen Quellen zusammengeführt und aufbereitet werden. Ergebnis ist eine digitale Applikationskarte, die auf das Terminal des Pflanzenschutzgerätes geladen wird und die nachfolgende Applikation automatisiert, unter Einhaltung aller gesetzlichen Vorgaben, steuert. Diese Karte beinhaltet u. a. auch die SOLL-Aufwandmengen und Abstandsauflagen. Während der Behandlung werden IST-Applikationsparameter sowie Umweltbedingungen erfasst und der digitalen Applikationskarte hinzugefügt. Diese kann nach Arbeitsende zur Dokumentation in das Farm-Management System übertragen werden. Darüber hinaus soll das System situationsgerecht Informationen (z. B. zu Anwenderschutzbestimmungen beim Anmischen, bei der Applikation, bei Nachfolgearbeiten) zur Verfügung stellen und dem Anwender während der Applikation vorhandene Risiken (z. B. dauerhaft höhere Windgeschwindigkeiten > 5 m/s) bedarfsgerecht kom-

munizieren. Nutzen mehrere Betriebe einer Region das digitale Assistenzsystem, dann kann über ein anonymisiertes Benchmarking eine Bewertung der eigenen Pflanzenschutzstrategie im regionalen Kontext vorgenommen werden. Das System soll auch auf konventionellen Spritzen mit Tankmischungen genutzt werden (POHL et al., 2021b).

Weitere Zukunftsthemen und Chancen zur weiteren Verbesserung liegen zum einen in der Agrarrobotik, zum anderen in der Kombination mit neuen Pflanzenbausystemen wie z. B. dem Spot Farming (vgl. WEGENER, 2020b; WEGENER & URSO, 2020; WEGENER et al., 2019). Hier ist das Ziel nicht mehr nur die teilflächenspezifische Behandlung, sondern die Einzelpflanzenbehandlung. Dies kann nur durch kleine und langsam arbeitende autonome Roboter erreicht werden, welche die dafür notwendige Präzision erst ermöglichen. Erste kleine autonom agierende Feldroboter für den chemischen Pflanzenschutz befinden sich derzeit in der praktischen Erprobung. Eine Markteinführung wird in den kommenden zwei bis drei Jahren erwartet. Auch für alternative Pflanzenschutzverfahren bietet die Robotik neue Optionen, z. B. für das mechanische Hacken in Gleichstandsamt (vgl. WEGENER et al., 2019) oder auch für völlig neue Ansätze, wie die Schneckenbekämpfung mit einem autonomen Schneckenroboter (GÖDEKE et al., 2019). UAVs können im Pflanzenschutz der Zukunft ebenfalls eine Rolle spielen, bieten sie doch auch Optionen für gezielte kleinflächige Maßnahmen. Derzeit ist ihre praktische Anwendung jedoch in Deutschland – als Ausnahmetatbe-



Abb. 3. Komponenten des digitalen Assistenzsystems.

stand (generelles Verbot des Einsatzes von Luftfahrzeugen in der EU) – auf den Bereich des Steillagenweinbaus begrenzt.

Fazit und Ausblick

Die aktuelle Pflanzenschutztechnik in Deutschland befindet sich – auch im internationalen Vergleich – auf höchstem Niveau. Wenn es um die Fragestellung geht, wie man einen Wirkstoff gleichmäßig über eine Fläche bei gleichzeitiger Minimierung der Behandlung von Nicht-Zielflächen verteilt, bieten die aktuellen Technologien eine optimale Grundlage, um die konkurrierenden Ziele bezüglich Schutz von Kulturpflanzen, Gesundheit und Umwelt in der Praxis weiter zu verbessern. Gleichzeitig steht die Pflanzenschutztechnik jedoch vor einem nie dagewesenen Umbruch, ausgelöst durch Methoden der Digitalisierung sowie neuer Verfahren wie z. B. Agrarrobotik und UAV's, die es nun erstmalig ermöglichen, die teilflächenspezifischen Applikation auf breiter Front in die Praxis zu bringen. Um diesen bevorstehenden Wandel im Pflanzenschutz erfolgreich umzusetzen, bedarf es jedoch einer ganzheitlichen Anstrengung, in der die Pflanzenschutztechnik nur eine Komponente darstellt. Weitere Komponenten, die in diesem Zusammenhang zu betrachten sind, sind z. B. die Risikobewertung, die Zulassung und die Pflanzenschutzgesetzgebung auf nationaler und EU-Ebene. Nur wenn hier im Zusammenspiel ein Konsens gefunden werden kann, mit denen das technisch machbare auch signifikant von den anderen Bausteinen unterstützt wird, kann eine weitere Annäherung an den von allen Akteuren angestrebte Leitsatz „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“ geschehen.

Erklärung zu Interessenskonflikten

Der Autor erklärt, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur

AT (Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz (Hrsg.), 2019: Prüfbericht G 2049xxx Elektronische Düsensteuerung mit Pulsweitenmodulation TeeJet „DynaJet“; Anerkannt für die Verwendung mit Spritz- und Sprühgeräten für Flächenkulturen. Geräteprüfberichte des Julius Kühn-Instituts: 4 S, DOI: 10.5073/AT.2019.G2049.

BRÖRING, J., D. VON HÖRSTEN, 2019: Düsenkombinationen und -anordnungen für den Einsatz mit einer Fahrgassenabschaltung bei Feldspritzgeräten. *Gesunde Pflanzen* 71 (Suppl. 1), 45-49, DOI: 10.1007/s10343-019-00449-7.

EIKEL, G., 2013: Horsch Leeb-Anhängespritze 7GS: Edler Stahl hat seinen Preis. *Profi* 10, 36-39.

GANZELMEIER, H., 2001: Pflanzenschutztechnik und Pflanzenschutzgeräteprüfung im Wandel der Zeit. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 53 (10), 245-262.

GANZELMEIER, H., D. RAUTMANN, R. SPANGENBERG, M. STRELOKE, M. HERRMANN, H.J. WENZELBURGER, H.F. WALTER, 1995: Untersuchungen zur Abdrift von Pflanzenschutzmitteln - Ergebnisse eines bundesweiten Versuchsprogrammes. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 304, 110 S.

GÖDEKE, J., J.K. WEGENER, D. VON HÖRSTEN, C. HÖING, 2019: Entwicklung einer Robotik-Lösung zur Schneckenbekämpfung im Ackerbau. *Gesunde Pflanzen* 71 (Suppl. 1), 73-78, DOI: 10.1007/s10343-019-00444-y.

HERBST, A., H.-J. OSTEROTH, M. SPRANGER, H.-J. WEHMAN, J. GARRELS, H. KRAMER, M. KNUIVERS, F. BERNING, G. HÖNER, 2012: Reinigen & Schalten: Was die moderne Automatik leistet. *Top Agrar* 3, 124-137.

IMMENROTH, E., D. RAUTMANN, D. VON HÖRSTEN, J.K. WEGENER, J.-P. POHL, 2019: Entwicklung und Anwendung einer Prüfmethode zur Untersuchung von Closed-Transfer-Systemen (CTS) an Pflanzenschutzgeräten. *Gesunde Pflanzen* 71 (Suppl. 1), 25-31, DOI: 10.1007/s10343-019-00450-0.

ISO, 2013: Land- und Forstmaschinen - Pflanzenschutzgeräte zum Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln und flüssigen Düngemitteln - Umweltschutz. Harmonisierte Norm ISO 16119-Teil 1-3, Ausgabedatum: 2013-03, URL: <https://www.beuth.de/de/norm/iso-16119-1/180990830>.

JKI (Julius Kühn-Institut), 2021: Beschreibende Liste: Verlustmindernde Geräte – Abdriftminderung, URL: <https://www.juliuskuehn.de/at/richtlinien-listen-pruefberichte-und-antraege/>, Abrufdatum 22.02.2021.

KEMMERLING, M., J.K. WEGENER, D. RAUTMANN, J.-P. POHL, E. IMMENROTH, D. VON HÖRSTEN, 2018: Trial Report – Closed Transfer Systems (CTS). *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* 202, 49 S., DOI: 10.5073/berjki.2018.202.000.

KLINGAUF, F., 2001: Begrüßung und Eröffnung der Festveranstaltung 50 Jahre Pflanzenschutzgeräteprüfung in Braunschweig. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 53 (10), 242-243.

OSTEROTH, H.J., 2013: Die richtige Düse. *ACKERplus* 3,58-61.

POHL, J.-P., H. DUNEKACKE, F. VON BARGEN, D. VON HÖRSTEN, J. K. WEGENER, 2021a: Direkteinspeisung an Feldspritzgeräten zur situationsgerechten und teilflächenspezifischen Applikation. *Journal für Kulturpflanzen* 73 (5/6), 116-120, DOI: 10.5073/JfK.2021.05-06.03.

POHL, J.-P., D. JAHNCKE, D. FEISE, D. VON HÖRSTEN, J. K. WEGENER, 2021b: Digitales Assistenzsystem als ganzheitliche Lösung für den teilflächenspezifischen und ressourcenschonenden Pflanzenschutz. *Journal für Kulturpflanzen* 73 (5/6), 110-115, DOI: 10.5073/JfK.2021.05-06.02.

POHL, J.-P., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, D. VON HÖRSTEN, 2017: Site-specific application of plant protection products in Precision Farming by direct injection. *Advances in Animal Biosciences* 8 (2), 255-258, DOI: 10.1017/S2040470017000255.

POHL, J.-P., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, D. VON HÖRSTEN, 2018: Teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung – eine Innovation zur präzisen Applikation im Pflanzenbau. In: NORDMEYER, H., L. ULBER (Hrsg.): *Tagungsband 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*: 27. Februar - 1. März 2018, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv 458, 373-378, DOI: 10.5073/jka.2018.458.055.

POHL, J.-P., D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, D. VON HÖRSTEN, 2019: Direkteinspeisung im Präzisionspflanzenschutz – Teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln. *Gesunde Pflanzen* 71 (Suppl. 1), 51-55, DOI: 10.1007/s10343-019-00452-y.

POHL, J.-P., D. VON HÖRSTEN, J.K. WEGENER, B. GOLLA, I. KARPINSKI, S. RAJMIS, C. SINN, N. NORDMEYER, C. WELLHAUSEN, B. KLEINHENZ, M. HERRMANN, H. DUNEKACKE, A. MATTHIESEN, F. VON BARGEN, D. JAHNCKE, D. FEISE, M. RÖHRIG, R. SANDER, 2020a: Assistenzsystem für den teilflächenspezifischen Einsatz von Herbiziden. *Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*: 3. - 5. März 2020, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv 464, 216-221, DOI: 10.5073/jka.2020.464.033.

POHL, J.-P., D. VON HÖRSTEN, J.K. WEGENER, 2020b: Digitales Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation mit Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln. *Fokus: Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier; Referate der 40. GIL-Jahrestagung* 17. - 18. Februar 2020 in Freising-Weihenstephan, zur Veröffentlichung angenommen.

RAUTMANN, D., M. STRELOKE, 2001: Die Verzahnung der Prüfung der Pflanzenschutzgeräte mit der Zulassung der Pflanzenschutzmittel. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 53 (10), 270-273.

WEGENER, J.K., 2013: Entwicklungstrends in der Pflanzenschutztechnik im Ackerbau. *Kartoffelbau* 11, 13-16.

WEGENER, J.K., 2014: Größer, schneller und präziser. In: FRERICHS, L. (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2013*, S. 1-11.

WEGENER, J.K., 2016: Neues aus der Pflanzenschutztechnik. In: FRERICHS, L. (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2015*, S. 1-8.

WEGENER, J.K., 2018: Neue technische Lösungen für die präzise und sichere Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. In: FRERICHS, L. (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2017*, S. 1-7.

- WEGENER, J.K., 2020a: Gezielter und flexibler - Trends in der Pflanzenschutztechnik. In: FRERICHS, L. (Hrsg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2019*, S. 1-7.
- WEGENER, J.K., 2020b: Rahmenbedingungen und Perspektiven im zukünftigen Pflanzenschutz. In: DLG (Hrsg.): *Tagungsband der Tagung Land. Technik für Profis 2020: Pflanzenschutz*; 11.-12. Februar 2020, 15-20.
- WEGENER, J.K., D. VON HÖRSTEN, 2019: Pflanzenschutz. In: HENSEL, O., K. KÖLLER (Hrsg.): *Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion*. 1. Auflage, 126-156.
- WEGENER, J.K., M. KREBS, D. RAUTMANN, H. NORDMEYER, 2016: Teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln – Stand der Technik und aktuelle Herausforderungen. In: DLG (Hrsg.): *Tagungsband der Tagung Land. Technik für Profis 2016: Pflanzenschutz*, 33-46.
- WEGENER, J.K., L.-M. URSO, 2020: Pflanzenbau der Zukunft: Mit Spot Farming zur nachhaltigen Intensivierung in der Pflanzenproduktion. *Landwirtschaft ohne Pflug: LOP* 6, 34-39.
- WEGENER, J.K., L.-M. URSO, D. VON HÖRSTEN, H. HEGEWALD, T.-F. MINßEN, J. SCHATTENBERG, C.-C. GAUS, T. DE WITTE, H. NIEBERG, F. ISERMEYER, L. FRERICHS, G.F. BACKHAUS, 2019: Spot farming – an alternative for future plant production. *Journal für Kulturpflanzen* 71 (4): 70-89, DOI: 10.5073/JfK.2019.04.02.
- WEHMANN, H.-J., 2016: Pflanzenschutzgeräte sachgerecht befüllen und reinigen. (AID 1314). Bonn, 26 S.
- WELLHAUSEN, C., M. PFLANZ, J.P. POHL, H. NORDMEYER, 2020: Generierung von Unkrautverteilungskarten auf der Basis automatischer Annotierungen in Feldaufnahmen. In: NORDMEYER, H., L. ULBER (Hrsg.): *Tagungsband 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*, 3.-5. März 2020, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv 464, 222-227, DOI: 10.5073/jka.2020.464.034.

© Der Autor/Die Autorin 2021.

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

© The Author(s) 2021.

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