



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 97 | Ausgabe 3

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Akzeptanz autonomer Feldroboter im Ackerbaueinsatz: Status quo und Forschungsbedarf

Von Friedrich Rübcke von Veltheim, Ludwig Theuvsen und Heinke Heise

1 Einleitung

Landwirtschaftliche Betriebe sehen sich aktuell mit vielen Problemen konfrontiert, für die autonome Feldroboterkonzepte einen künftigen Lösungsansatz darstellen könnten.

Für Marktfruchtbetriebe in Deutschland zählen zu diesen Problemen bspw.

- ein zum Teil dem demographischen Wandel geschuldeter Fachkräftemangel,
- der gesellschaftlich kritisierte Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, die sich aufgrund zunehmender Resistenzen aus einem immer kleiner werdenden Spektrum wirksamer Komponenten zusammensetzen,
- eine verstärkt den landwirtschaftlichen Berufsstand betreffende Diskussion um einen Verlust an Biodiversität in ländlichen Räumen sowie
- immer größer werdende Landmaschinen, die an die Grenzen der straßenverkehrsrechtlichen Vorgaben stoßen und immensen Druck auf den zu beackernden Boden ausüben (15).

Autonome Feldroboter können Unkraut mithilfe von Sensoren erkennen und dieses mechanisch (besonders interessant für den Ökolandbau) oder mittels präziser Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln bekämpfen (18). Darüber hinaus wären Feldroboter in der Lage, verschiedene Kulturen auf einem Schlag anzupflanzen und zu beackern, je nach Bodenbeschaffenheit und Nährstoffversorgung. Aus dieser auch als „spot farming“ bekannten Anbauweise können sich in bestimmten Pflanzenkombinationen Synergieeffekte für die Kulturen ergeben (15). Diese Anbauweise hätte eine positive Wirkung auf die Biodiversität und würde das Landschaftsbild heterogener gestalten, als es bisher mitunter der Fall ist (39). Durch die kleinen Ausmaße und das relativ geringe Gewicht der Roboter würden sich straßenverkehrsrechtliche Hürden und eine zu hohe Bodenverdichtung als Probleme erübrigen. Zudem könnten durch den geringeren

Arbeitskräftebedarf Kosten eingespart werden, die vor allem in arbeitskraftintensiven Bereichen, wie dem Obst- und Gemüseanbau, zum Tragen kommen würden.

(21) spricht autonomen Feldrobotern ein disruptives Potential zu, da diese je nach Umsetzung zu einer kompletten Umwälzung bisheriger Produktionssysteme in der Landwirtschaft führen können. Doch genau das könnte in der Landwirtschaft auf Widerstände stoßen, da autonome Feldroboterkonzepte, die in eine zunehmend digitalisierte Umwelt eingebunden sind, langfristig gesehen den eigenen Berufstand sukzessive ersetzen bzw. in eine Nebenrolle drängen könnten (12; 19).

Ob sich autonome Feldroboter auf mittlere Sicht etablieren werden, ist gegenwärtig noch völlig offen (15). Eine Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Einsatz dieser neuen Technologie ist ihre Akzeptanz durch die Gesellschaft, aber auch durch die einzelnen Stakeholder, wie bspw. die Landwirte oder die Landmaschinenhersteller, damit es bei einem Erstkontakt nicht zur Ablehnung und dem damit verbundenen Scheitern autonomer Feldroboter kommt (6).

Ein Überblick über die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Akzeptanzforschung zu autonomen Feldrobotern fehlte bislang. Ziel dieses Beitrags ist es daher, zunächst die für die hier betrachtete Fragestellung relevanten Begriffe (Autonomisierung, Automatisierung und Feldroboter) präzise abzugrenzen und den derzeitigen Einsatz autonomer Feldroboter im Ackerbau auf Basis der vorhandenen wissenschaftlichen Literatur zu skizzieren. Daran schließt sich ein Forschungsüberblick der Akzeptanz von Precision Agriculture-Technologien (PAT) im Allgemeinen, gefolgt von der Akzeptanz autonomer Feldroboter im Speziellen an. Diese können unter PAT subsumiert werden. Davon ausgehend, wird abschließend ein kurzes Fazit gezogen und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

2 Methodisches Vorgehen

Um dem Anspruch einer umfassenden Recherche zur Darstellung des aktuellen Standes der Literatur zur Akzeptanz von PAT und dann spezieller autonomer Feldroboter in der Landwirtschaft gerecht zu werden, wurde die Fachliteratur der letzten 10 Jahre betrachtet. Die Idee, vollautomatisierte Maschinen in der Landwirtschaft einzusetzen, ist zwar um einiges älter, doch hat sie erst in der jüngsten Vergangenheit an Relevanz gewonnen, was nicht zuletzt auf den Megatrend Digitalisierung zurückgeführt wird (34). Die Suche wurde anhand dreier Hauptkriterien eingeschränkt: Zum einen wurden nur vollständige wissenschaftliche Artikel berücksichtigt, die Peer-Review-

Begutachtungsverfahren durchlaufen hatten; zum anderen musste ein Bezug zur gestellten Forschungsfrage bestehen. Schließlich lag die Konzentration speziell auf ackerbaulichen, bodengebundenen autonomen Roboteranwendungen, da diese in den letzten Jahren sehr viel Aufmerksamkeit erfahren haben.

Aus der Betrachtung ausgeschlossen wurden Artikel, die in einer anderen Sprache als Deutsch oder Englisch veröffentlicht wurden, sowie Beiträge, die sich auf rein technische Fragestellungen begrenzten (z.B. bestimmte Software- oder Sensorteilfragen).

Da ein Literaturüberblick nach (5), die sich wiederum auf (16) beziehen, mehreren Anforderungen genügen muss, um den Anspruch der Vollständigkeit erheben zu dürfen, wurde ein strukturiertes, zweistufiges Vorgehen bei der Suche und Analyse der Ergebnisse gewählt (23).

Auf der ersten Stufe wurden 160 wissenschaftliche Journale, die in dem von (11) veröffentlichtem GEWISOLA-ÖGA Publikationsranking als agrarökonomisch bedeutsam bewertet wurden, nach allen Kombinationsmöglichkeiten zweier Begriffsgruppen durchsucht.

Die eine Gruppe bestand aus Begriffen, die sich um autonome, mobile Roboter und digitale Technologien drehen (z.B. autonome Roboter, Digitalisierung, GPS, Kleinmaschinen, smart robots). Die andere Gruppe umfasste Begrifflichkeiten, die zunächst einen Bezug zur Landwirtschaft und dann spezieller zum Ackerbau herstellen (z.B. Landwirtschaft, Feld, precision agriculture, farming).

Die Suche wurde anschließend auf größere Plattformen, wie Google Scholar oder Web of Science, aber auch auf die Online-Suchfunktionen diverser Universitätsbibliotheken ausgeweitet, da solche Suchmaschinen eine breite Abdeckung einschlägiger wissenschaftlicher Literatur bieten und über erweiterte bibliometrische Funktionen verfügen, wie bspw. das Vorschlagen von zum Suchbegriff passender Literatur. Die gefundenen Artikel wurden anschließend nach ihrer Relevanz zur Forschungsfrage gesichtet und sortiert.

Auf der zweiten Stufe wurden die als relevant bzw. sehr relevant klassifizierten Artikel analysiert, um die zur Beantwortung der Forschungsfrage wichtigen Informationen zu extrahieren. Dabei wurden weitere, in den analysierten Veröffentlichungen zitierte, relevante Artikel gefunden und hinzugezogen.

Als Ergebnis wurden 35 wissenschaftliche Beiträge zu landwirtschaftlichen Feldrobotern und 11 wissenschaftliche Beiträge aus dem Bereich der Akzeptanzforschung als zur Zielerreichung dieses Beitrags besonders relevant eingestuft.

3 Begriffliche Abgrenzungen

In Publikationen zu autonomen Feldrobotern in der Landwirtschaft werden die beiden Begriffe automatisiert und autonom oftmals synonym verwendet. Dabei gilt es hier scharf zu trennen; umso mehr, wenn Fragen der Maschinenethik oder der Technikakzeptanz diskutiert werden.

Nach (25) bedeutet Automatisierung, „(...) *eine ursprünglich durch menschliche Beobachtung, Überlegung und Handlung ausgeführte Folge von Vorgängen zwangsläufig nach einem festgelegten Programm mit technischen Mitteln zu bewirken.*“ (38) fasst den Begriff etwas weiter, indem er Automatisierung als: „[Die] *Übertragung von Funktionen des Produktionsprozesses, insbesondere Prozesssteuerungs- und –regelungsaufgaben vom Menschen auf künstliche Systeme*“ definiert. Beide Begriffsfassungen haben gemein, dass sie sich ausschließlich auf die technischen Aspekte konzentrieren.

Die Landwirtschaft durchläuft seit Beginn der Industrialisierung in nahezu allen Teilbereichen technische Automatisierungsprozesse, die in zunehmendem Tempo erfolgen. Diese wurden vor allem mit dem Ziel steigender Arbeitsgeschwindigkeit und damit Produktivität vorangetrieben (25; 9). Automatisierte Maschinen treffen keine eigenständigen Entscheidungen, sondern folgen lediglich vorher festgelegten Pfaden bzw. Programmierungen. Laut (10) wird erst dann von Maschinenautonomie gesprochen, wenn ein System auf Grundlage einer inneren Dynamik und der Interaktion mit seiner Umwelt agiert. Dafür muss es auf Grundlage von sensorischem Input planen, schlussfolgern und Konsequenzen abschätzen. Zusätzlich müssen die Systeme lernfähig und in der Lage sein, vorgegebene Überwachungs- und Planungsschritte zur Problemlösung selbstständig zu kombinieren sowie mit anderen autonomen Systemen zu kommunizieren.

(4) definieren Roboter als perzeptive Maschinen, die in Echtzeit handeln und zur Ausführung bestimmter Aufgaben und zum Treffen von Entscheidungen programmiert werden können. Eine Definition für autonome mobile Feldroboter stammt von (17). Nach seiner Auffassung sind autonome Feldroboter: „(...) *Roboter, die in einer automatisierungsaversen Umgebung, also einer nicht kontrollierten und nicht vollständig bekannten Umgebung, entsprechend automatischen Interpretationen von Sensordaten aus dieser Umgebung selbstständig zielgeleitet agieren*“.

Die autonome Feldrobotik ist Gegenstand verschiedener Forschungsbereiche. So wird einerseits erforscht, wie sich die Maschinen anhand verschiedener Sensoren in einer nicht kontrollierbaren Umgebung selbstständig lokalisieren. Andererseits wird untersucht, wie die mobilen Roboter ihre Umgebung erfassen und interpretieren, um schließlich Aufgaben zu planen und umzusetzen (15).

(4) unterteilen die Einsatzfelder der Robotik anhand der Strukturiertheit der Umwelt und der sich darin befindenden Objekte in vier Gruppen (Tabelle 1).

Tabelle 1:
Unterteilung Robotik nach Einsatzgebiet

Einsatzgebiete Robotik		Objekte	
		Strukturiert	Unstrukturiert
Umwelt	Strukturiert	z.B. Industrie	z.B. Medizin
	Unstrukturiert	z.B. Raumfahrt	z.B. <i>Feldroboter</i>

Quelle: Eigene Darstellung nach (4)

Feldroboter fallen in die vierte Gruppe, in der weder die Umwelt noch die Objekte strukturiert sind. Daraus resultieren hohe Ansprüche an die praktische Umsetzung sowie die anschließende Kommerzialisierung solcher Roboterkonzepte (14).

4 Einsatz autonomer Feldroboter im Ackerbau

In der Landwirtschaft gibt es Bereiche, in denen vollautomatisierte und teilautonome Systeme, bereits seit einigen Jahren im Einsatz sind (28). Diese wurden allerdings in erster Linie als großtechnische Lösungen konzipiert. Beispiele sind Melkroboter, automatische Futtersysteme aber auch GPS-gestützte Lenksysteme sowie mit Sensoren bestückte Anbaugeräte, die auf Reihenfrüchte und Obstplantagen spezialisiert wurden (bspw. John Deere iTEC Pro oder Claas autonomous navigation).

Ziel ist es dabei stets, menschliche Arbeitskraft durch präziser und zuverlässiger arbeitende Technik zu ergänzen oder zu ersetzen, um auf diese Weise mit geringeren Kosten effizienter qualitativ höherwertigere Lebensmittel zu produzieren (33; 2).

Erst in Teilen marktreif bzw. noch im Forschungsstadium sind dagegen vollautonome Systeme, wie mobile Feldroboter, die durch den Einzug der Digitalisierung in die Landwirtschaft vermehrt Aufmerksamkeit erfahren (34). So wird ihnen schon jetzt eine tragende Rolle innerhalb des Sektors vorhergesagt (40; 8).

Nach (20) und (41) bleiben die bisher realisierten autonomen Roboterkonzepte im Praxistest allerdings nicht selten hinter den Erwartungen zurück, weshalb (4) einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz autonomer Feldroboter erst bei entsprechend niedrigen Produktionskosten für gegeben erachten. Die erschwerten Bedingungen durch unterschiedliche Witterungs- und Bodenbedingungen gekennzeichnete Jahreszeiten sowie kurze, intensive Produktionsphasen erfordern möglichst robuste autonome Feldroboter (24). Um dies zu gewährleisten, sind die Forschungsansätze für Feld- oder

Agrarroboter sehr vielfältig, wie auch die landwirtschaftliche Produktion selbst durch eine große Bandbreite unterschiedlichster Anwendungsmöglichkeiten gekennzeichnet ist (32).

In der gesichteten Literatur werden Feldroboter nach Arbeitsgang (Bonitur, Pflanzenschutz, Ernte, Auslese usw.), Art (Flug- oder Bodenroboter) oder Ausstattung (Manipulator, Antrieb usw.) unterteilt (4; 15; 28; 34). Dabei ist eine klare Zuordnung der Roboter zu einem Arbeitsgang nicht immer möglich, da diese oft mehrere Verfahren ausführen oder als multifunktionale Plattform mit verschiedenen Modulen ausgestattet werden können.

(4) haben 2016 eine Forschungsübersicht der letzten 30 Jahre im Bereich der technischen Fähigkeiten landwirtschaftlicher Feldroboter, sortiert nach Kulturpflanzen und Arbeitsgang, erstellt. Sie konstatieren, dass es noch einen sehr großen Forschungsbedarf in Hinblick auf die komplexe Umwelt von Feldrobotern gibt, bevor diese erfolgreich in großem Umfang eingesetzt werden können. Obwohl Feldfrüchte, anders als bspw. Automobile, zu deren Produktion seit längerem Roboter eingesetzt werden, durch eine relativ geringe Rente ausgezeichnet sind, kann sich der Einsatz von autonomen Feldrobotern aufgrund stetig sinkender Stückkosten, etwa der benötigten Sensoren, künftig dennoch als ökonomisch vorteilhaft darstellen (4).

Daneben betrachten sie die Sicherheit und Zuverlässigkeit solch neuartiger Technologien als wichtige Aspekte, damit ihr Einsatz in einer unkontrollierten Umgebung, wie etwa einer Ackerfläche, von den Stakeholdern akzeptiert wird.

Einen Überblick über Feldroboterkonzepte für die Arbeitsgänge Bodenbearbeitung, Aussaat, Bonitur, Pflege und Ernte sowie verfahrensübergreifende Arbeiten, die kurz vor einer Markteinführung stehen oder bereits realisiert wurden, vermittelt der Abschlussbericht von (15). Sie merken an, dass bisher überwiegend Roboterkonzepte als Teillösungen für einzelne Aufgaben entwickelt und nicht etwa umfassende Pflanzenbausysteme als Ganzes betrachtet wurden. Folglich plädieren sie für eine stärkere Vernetzung bestehender Insellösungen, damit die ökologischen Potentiale autonomer Feldroboterkonzepte zum Tragen kommen können.

(28) umreißen in ihrer Studie den Status quo der Entwicklung von Luft-, Boden- und Spezialfeldrobotern sowie von Roboterschwärmen. Sie stellen fest, dass bisher vor allem Drohnen in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen und attestieren ihnen in Kombination mit Bodenroboterschwärmen ein hohes Potential für die Zukunft.

Eine ausführliche Übersicht über die jüngsten Entwicklungen von Feldroboterkonzepten zur Unkrautkontrolle und Einzelpflanzenbehandlung, zur Bonitur und Feldkartierung sowie zur Gemüse- und Obsternte haben (34) erstellt. Sie kommen zu dem Schluss, dass bisherige Roboterkonzepte noch nicht weit genug entwickelt wurden, um menschliche Arbeitskräfte in der Landwirtschaft zu substituieren. Dafür müssten Arbeitsgeschwindigkeit und Präzision der Feldroboter gesteigert werden, weshalb sie sich in diesem Zusammenhang für Schwarmtechnologien, die aus der Luft durch Drohnen mit Informationen unterstützt werden, aussprechen.

5 Stand der Akzeptanzforschung

Trotz der bereits durchführbaren Arbeitsgänge und der zahlreichen Vorteile, die autonome Roboterkonzepte prinzipiell mit sich bringen, kommt ihre Kommerzialisierung eher schleppend voran (34). Die Einflussfaktoren auf die Akzeptanz und damit einhergehend die weitere Verbreitung autonomer Feldroboter haben in der Forschung bisher kaum Beachtung gefunden (12; 27).

Sehr viel zahlreicher sind dagegen Studien zur Akzeptanz von PAT, unter die mobile Feldroboter subsummiert werden können (Tabelle 2). Daher werden im Abschnitt 5.1 zunächst ausgewählte Studien zur Adoption von PAT chronologisch vorgestellt, woran sich im Abschnitt 5.2 eine Übersicht über die wenigen bisher durchgeführten Studien zur Akzeptanz autonomer Feldroboterkonzepte anschließt.

5.1 Akzeptanzforschung von Precision Agriculture-Technologien

(1) haben die Akzeptanzhemmnisse von PAT in der Provinz Quebec (Kanada) untersucht. Dafür wurden 1.998 Fragebögen an dort ansässige Landwirte verschickt, von denen 438 Fragebögen ausgewertet werden konnten. Die Fragen bezogen sich auf den Einsatz von Global Positioning-Systemen (GPS), geographischen Informationssystemen (GIS), Erntekartierung, Pflanzenerkennung und Fernerkundung, Teilflächenapplikation, Autopiloten und Navigation. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Akzeptanz von PAT sowohl von der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit als auch dem empfundenen Nutzen abhängig ist und durch mangelnde Kompatibilität sowie durch fehlendes Wissen um den Nutzen von PAT für Landwirte gehemmt wird. Im Gegensatz zu anderen Studien hatte in der Untersuchung von (1) weder das Alter des Landwirtes noch die Größe des Betriebes einen Einfluss auf die Akzeptanz der untersuchten Technologien.

(7) untersuchten die Akzeptanz verschiedener PAT sowie die Nutzung von Smartphones durch Landwirte in Nebraska (USA), die Reihenkulturen beackern. Die Antworten der 102 befragten Landwirte wurden mithilfe eines Poisson-Modells auf die Akzeptanz beeinflussende Faktoren hin analysiert. Als Ergebnis zeigte sich, dass größere Landwirtschaftsbetriebe eher verschiedene PAT

einsetzen als kleinere. Zudem wurde deutlich, dass Landwirte, die ein Smartphone mit Internetzugang benutzen, eher bereit sind, PAT einzusetzen.

(30) gingen der Frage nach, ob sich bestimmte Verhaltensmuster der Landwirte hinsichtlich der Akzeptanz von PAT (v.a. in Hinblick auf Teilflächenmanagement) ermitteln lassen und ob der Einsatz solcher Technologien tatsächlich ökonomisch vorteilhafter ist als herkömmliche Technologien. Dafür wurde ein Behandlungseffektmodell entwickelt, dessen Grundlage die Daten einer groß angelegten Erhebung (Agricultural Resource Management Survey - ARMS) des U.S. Department of Agriculture (USDA) aus dem Jahr 2010 bildeten (n=1.507). Es stellte sich heraus, dass vor allem größere Betriebe mit besser ausgebildeten Arbeitskräften, die sowohl den bewirtschafteten Boden regelmäßig auf Nährstoffe untersuchen als auch genverändertes Saatgut einsetzen, bevorzugt als „Early Adopters“ von PAT in Erscheinung treten. Daneben fanden (30) heraus, dass die höchsten Kostenersparnisse erzielt werden konnten, wenn die beiden PAT Boden- und Erntekartierung kombiniert wurden.

(36) gingen der Frage nach, welche Faktoren die Akzeptanz von PAT durch Landwirte in Kansas (USA) beeinflussen und wie sich die PAT einsetzenden Landwirte charakterisieren lassen. Dafür wurden Landwirte, die gleichzeitig Mitglieder der Kansas Farm Management Association (KFMA) sind, mittels Fragebogen befragt (n=453). Die Erhebung wurde anschließend mithilfe eines Adoption Decision Model analysiert. Wie auch in der Studie von (30), korrelierte die Betriebsgröße positiv mit der PAT-Akzeptanz durch die Betriebsleiter. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Einschätzung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit des PAT-Einsatzes mit zunehmendem Alter des Landwirtes abnahm. Zusätzlich wurde bestätigt, dass der Faktor Zeit einen positiven und statistisch signifikanten Einfluss auf die Akzeptanz von PAT und deren Verbreitung hat. Dabei erfasst der Diffusionsfaktor Zeit alle Wechselwirkungen, die durch das über die Zeit sich stetig verbessernde PAT Knowhow und fortschreitende Technologieentwicklungen entstehen und schwer messbar sind.

(13) befragten landwirtschaftliche Dienstleister in den USA zu verschiedenen PAT (n=209). Ziel war es, ein besseres Verständnis des praktischen Einsatzes sowie der Akzeptanzhemmnisse von PAT und deren Rentabilität zu erlangen. In den letzten Jahren kam es demnach zu einer verstärkten Nutzung von Technologien zur Datenerhebung, wie Stickstoffsensoren, drohnengestützten Kartierungen und Leitfähigkeitsmessungen des Bodens, während der Einsatz von Telemetriesystemen abnahm. Als Akzeptanzhemmnisse wurden das Einkommen der Landwirte und der erwartete, als zu gering bewertete Nutzen von PAT identifiziert. Daneben gaben die Dienstleister an, dass sie Hard- und Softwareinkompatibilitäten, zu hohe Produktpreise und das Aufzeigen eines Mehrwertes von PAT für die Landwirte als Herausforderung erachten.

In dem Beitrag von (42) ging es um Entwicklungstendenzen und geografische Muster der Akzeptanz von PAT unter Baumwollanbauern in 14 südlichen US-Bundesstaaten. Zu diesem Zweck wurden Fragebögen per Mail an Baumwollanbauer verschickt. Die verwertbaren und in die weitere Analyse eingeflossenen Antworten beliefen sich auf 1.811 der 13.566 verschickten Fragebögen. Es konnte gezeigt werden, dass 73,5 % der Befragten mindestens eine PAT einsetzten. Im Einzelnen nutzten 40,9 % der Befragten Datenerhebungsinstrumente (wie automatische Ernte- oder Bodenkartierung), 67 % GPS-Führung, 25,3 % variable Mengenausbringung und 29,3 % automatische Lenkfunktionen. Die höchste PAT-Akzeptanz wurde im Corn Belt, gefolgt vom Mississippidelta und den Northern und Southern Plains festgestellt. Der geringste PAT-Einsatz erfolgte in den südwestlichen Regionen. Mittels einer Medienanalyse, in die 210 Artikel aus drei Fachzeitschriften, die zwischen 2009 und 2016 veröffentlicht wurden, einfließen, untersuchten (31), welche Gründe der Akzeptanz von PAT in Deutschland entgegenstehen. In absteigender Häufigkeit wurden folgende Akzeptanzhemmnisse genannt:

- hoher Investitionsbedarf,
- Sorge um Datenschutz und Inkompatibilität verschiedener Systeme.

(35) untersuchten die Bewertung von vier PAT (teilflächenspezifische Düngung, GPS-gestützte Bodenproben, automatisches Lenken und Erntekartierung) durch US-amerikanische Landwirte, die mehr als 1.000 Acres (ca. 405 Hektar) konventionell bewirtschaften. Von den 5.295 via Telefon kontaktierten Landwirten vollendeten 837 Landwirte die Umfrage vollständig, sodass diese analysiert werden konnten. Zusätzlich wurde ein paarweises Best-Worse-Scaling Choice Experiment durchgeführt, um die präferierten PAT-Vorteile der Befragten zu ermitteln. Das Ergebnis stellte sich heterogen dar. So wurden die größten Vorteile in der Wahrnehmung von PAT unter den befragten Landwirten entweder in der Ertragssteigerung oder in der Kostenreduktion und gesteigerten Bequemlichkeit durch die Nutzung von PAT gesehen. Die Wahrnehmung der Befragten wurde dabei nachweislich von den PAT beeinflusst, die sie selber nutzen.

Tabelle 2:
Literaturüberblick zur Akzeptanzforschung von PAT

Autoren & Jahr	Forschungsfrage	Methode	Zentrale Ergebnisse
1. AUBERT et al. (2012)	Akzeptanzhemmnisse von PAT in der Provinz Quebec (Kanada)	Umfrage Landwirte Kanada (n=438)	<ul style="list-style-type: none"> • Akzeptanz abhängig von wahrgenommener Benutzerfreundlichkeit und empfundener Nutzen von PAT • Hemmnisse: v.a. mangelnde Kompatibilität und fehlendes Wissen um Nutzen von PAT der Landwirte • Betriebsgröße und Alter haben keinen Einfluss auf Akzeptanz von untersuchten PAT

7. CASTLE et al. (2016)	Faktorenanalyse der Akzeptanz von PAT und Smartphonennutzung unter Reihenzüchtlern in Nebraska (USA)	Umfrage Landwirte Nebraska (n=102); Poisson-Modell	<ul style="list-style-type: none"> • Je größer der Landwirtschaftsbetrieb, desto höher ist die Akzeptanz von PAT • Wenn ein Anbauer über ein Mobiltelefon mit Internetzugang verfügt, ist die Nutzung von PAT wahrscheinlicher
30. SCHIMMEL-PFENNIG und EBEL (2016)	Welche Verhaltensmuster stecken hinter der Akzeptanz von PAT (v.a. im Hinblick auf variable Mengenausbringung) durch Landwirte und sind PAT tatsächlich ökonomisch sinnvoll?	Behandlungseffektmodell auf Grundlage einer Umfrage (USDA) (n=1.507)	<ul style="list-style-type: none"> • PAT werden eher von größeren Betrieben/Landwirten mit höherem Bildungsabschluss bevorzugt • Teilflächenapplikation führt zu größten Kosteneinsparungen, wenn sie mit Bodenkartierung (und nicht allein der Ertragskartierung) kombiniert wird
36. TORREZ et al. (2016)	Identifikation von Einflussfaktoren der Akzeptanz von PAT und Charakterisierung der PAT einsetzenden Landwirte in Kansas (USA)	Umfrage Landwirte (KFMA Mitglieder) Kansas (n=453); Adoption Decision Modell	<ul style="list-style-type: none"> • Je größer der Landwirtschaftsbetrieb, desto höher ist die Akzeptanz von PAT • Jüngere Landwirte akzeptieren PAT eher, als ältere • Diffusionsfaktor Zeit hat einen positiven Einfluss auf Akzeptanz von PAT
13. ERICKSON et al. (2017)	Verständnis von Praktiken und Einschränkungen bei der Akzeptanz und Rentabilität von PAT	Umfrage PAT-Dienstleister USA (n=209)	<ul style="list-style-type: none"> • Zunahme des Einsatzes von unbemannten Fahrzeugen (z.B. Drohnen) zur Datenerhebung bei Dienstleistern und Landwirten • Abnahme des Einsatzes von Telemetriesystemen • Akzeptanzhemmnisse: zu geringes Einkommen der Landwirte bzw. zu hohe Produktpreise, Nutzen von PAT, mangelnde Hard- und Softwarekompatibilität
42. ZHOU et al. (2017)	Entwicklungstendenzen und geografische Muster der Akzeptanz von PAT unter Baumwollanbauern in 14 südlichen US-Bundesstaaten	Umfrage Landwirte USA (n=1.811)	<ul style="list-style-type: none"> • 73,5 % der Befragten nutzten mindestens eine PAT • Im Detail nutzten 40,9 % Datenerhebungsinstrumente, 67 % GPS-Führung, 25,3 % variable Mengenausbringung, 29,3 % automatische Lenkfunktion • Höchste PAT-Akzeptanz im Corn Belt; geringste PAT-Akzeptanz in südwestlichen Regionen
31. SCHLEICHER und GRANDORFER (2018)	Bedeutung von Akzeptanzhemmnissen von PAT in Deutschland im Zeitverlauf	Medienanalyse dreier Fachzeitschriften	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Investitionsbedarf, Sorge um Datenschutz/Datenhoheit und Inkompatibilität zwischen den Systemen als häufigste Hemmnisse genannt
35. THOMPSON et al. (2018)	Bewertung Landwirte (USA; >1.000 Acres) bestimmter PAT	Telefonumfrage (n=837); Best-Worse-Scaling Choice Experiment	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrnehmung der Vorteile von PAT unter Landwirten heterogen • Meisten Nennungen: Ertragssteigerung, Kostenreduktion, Bequemlichkeit • Wahrnehmung abhängig von eigener PAT-Nutzung

Quelle: Eigene Darstellung

5.2 Akzeptanzforschung zu autonomen Feldrobotern

Zur Akzeptanz autonomer Feldroboter konnten drei relevante Beiträge gefunden werden (Tabelle 3). Im Jahr 2011 analysierte (26) Roboterkonzepte im Zuge einer umfassenden Betrachtung des Einsatzes von künstlicher Intelligenz (KI) in der Landwirtschaft. Dafür wurden unter anderem 64 verschiedene Online-Expertensysteme (Software) und etwa 200 Videos zu diesem Thema ausgewertet. Als Ergebnis fand er heraus, dass der Einsatz von KI in der Landwirtschaft zwar wächst; Zugang zu diesen Technologien hatten zum Zeitpunkt der Erhebung aber nur etwa 30 % der Weltbevölkerung. Für das Jahr 2030 wurde prognostiziert, dass global 75 % der Landwirte KI nutzen werden. Er kam darüber hinaus zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von Robotern und autonomen Geräten in der Landwirtschaft noch in den Kinderschuhen steckt und es mehr Zeit und Investitionen bedürfe, ehe solche Roboterkonzepte fester Bestandteil des landwirtschaftlichen Alltags werden.

(12) untersuchte in ihrer Literaturanalyse kognitive, die Akzeptanz autonomer Roboter- und Landtechnikkonzepte beeinflussende Faktoren. Sie kam zu dem Schluss, dass mangelndes Vertrauen der Landwirte in neuartige Technik, ihre Angst vor dem Verlernen landwirtschaftlicher Fähigkeiten und ihre Sorge vor dem Verlust sozialer Anerkennung wichtige kognitive Einflussfaktoren sind. Daneben konstatierte sie, dass mit zunehmenden Autonomisierungsgrad der Technik neben der kognitiven Belastung auch das Situationsbewusstsein des Landwirts für betriebliche Vorgänge sinkt.

Eine qualitative Studie zur Akzeptanz autonomer Roboterkonzepte in der Landwirtschaft führte (27) durch. Sie hat auf der Suche nach Treibern und Barrieren der Akzeptanz von landwirtschaftlichen Robotern und Möglichkeiten zur Akzeptanzförderung 14 Experten befragt. Darunter befanden sich fünf Hersteller von Feldrobotern, vier auf dem Gebiet der Feldrobotik tätige Wissenschaftler, zwei Lebensmittelhersteller, ein Landmaschinenhändler und ein Landwirt. Die befragten Experten nannten die mangelnde Verfügbarkeit von Arbeitskräften und die Hoffnung auf sinkende Arbeitserledigungskosten als Haupttreiber der Entwicklung der Robotertechnologie. Im Gegensatz zu Ergebnissen von (22) betrachteten die Experten Fragen des Datenschutzes und der Datenhoheit nicht als Akzeptanzbarrieren. Als Haupthindernisse nannten sie die mit der Anschaffung von Feldrobotern verbundenen Kosten sowie die fehlende Kompatibilität und Standardisierung der Geräte. Wollte man die Akzeptanz fördern, müssten die Roboterkonzepte Landwirten in Form von praktischen Demonstrationen vorgestellt werden. Zudem würden auch finanzielle Anreize die Akzeptanz fördern.

Tabelle 3:
Literaturüberblick zur Akzeptanzforschung von autonomen Feldrobotern

Autoren & Jahr	Forschungsfrage	Methode	Zentrale Ergebnisse
26. POPA (2011)	Status quo und Zukunft des Einsatzes von KI in der Landwirtschaft	Literaturanalyse	<ul style="list-style-type: none"> • KI-Einsatz wächst • Prognose 2030: 75 % der Landwirte nutzen KI • Bisher kaum Einsatz autonomer Roboter in der Landwirtschaft • Technologie braucht Zeit und Investitionen, um bestehende Technik zu übertreffen
12. DEVITT (2018)	Kognitive Einflussfaktoren auf die Akzeptanz autonomer Roboter- und Landtechnik	Literaturanalyse	<ul style="list-style-type: none"> • Wichtige Faktoren: mangelndes Vertrauen in neuartige Technik, Angst vor dem Verlernen landwirtschaftlicher Fähigkeiten, Verlust von sozialer Anerkennung • Je autonomer das System, desto geringer ist zwar die kognitive Belastung, doch desto geringer ist auch das Situationsbewusstsein betrieblicher Vorgänge
27. RIAL-LOVERA (2018)	Treiber und Barrieren der Akzeptanz landwirtschaftlicher Roboter und Möglichkeiten zur Akzeptanzförderung	Experten-interviews (n=14)	<ul style="list-style-type: none"> • Treiber: Fachkräftemangel, Arbeitserledigungskosten • Datenschutz und Datenhoheit keine Akzeptanzbarrieren • Barrieren: Anschaffungs- und Unterhaltskosten, fehlende Standardisierung • Förderung: praktische Demonstrationen und finanzielle Anreize

Quelle: Eigene Darstellung

6 Schlussfolgerungen

Ziel dieses Beitrags war es, in einem ersten Schritt den Einsatz autonomer, bodengebundener Feldroboter im Ackerbau als Teil einer zunehmend automatisierten Landwirtschaft zu skizzieren. In einem zweiten Schritt sollte der Stand der Forschung zur Akzeptanz von PAT unter besonderer Berücksichtigung autonomer Feldroboterkonzepte zusammengetragen werden, um so abschließend bestehenden Forschungsbedarf zu identifizieren.

Es konnte gezeigt werden, dass sich autonome landwirtschaftliche Kleinmaschinen noch in der Forschungs- bzw. einer sehr frühen Markteinführungsphase befinden, wenngleich die Forschungsaktivitäten in jüngerer Zeit stark zugenommen haben (34). Während den Feldroboterkonzepten ein großes Potential in den Bereichen Bonitur, Feldkartierung, sensorische

Datenerfassung und Schädlingsbekämpfung als Teil der Bestandspflege in Feldfrüchten zugesprochen wird, werden autonome Ernteroboterkonzepte bisher nahezu ausschließlich für Obst und Gemüse im Unterglasanbau entwickelt. Mögliche Gründe hierfür können in der großen Anzahl benötigter Arbeitskräfte und den damit einhergehenden Kosten im Obsternteprozess sowie in den sich stark, bspw. von der Getreideernte, unterscheidenden Randbedingungen liegen (3). So müssen bei der Obsternte einzelne Früchte erkannt und abgetrennt werden, während bei der Ernte von Feldfrüchten die Pflanze als Ganzes geerntet und verarbeitet wird, was andere Anforderungen an ein Roboterkonzept stellt (15).

Während die Akzeptanz von PAT bereits recht umfassend erforscht wurde, konnte in Bezug auf die Akzeptanz autonomer Feldroboter ein großes Forschungsdefizit ermittelt werden. Dieses ist möglicherweise dem bisher marginal ausfallenden Einsatz solcher Systeme in der Praxis geschuldet. Interessant erscheint in diesem Zusammenhang neben der weiteren Erforschung der Akzeptanz autonomer Feldroboterkonzepte eine sich daran anschließende vergleichende Betrachtung mit der Akzeptanz bisheriger, mehr oder weniger etablierter PAT. So könnte sich bspw. die wissenschaftlich mehrfach belegte positive Korrelation zwischen Betriebsgröße und PAT-Einsatz im Falle autonomer Feldroboter anders darstellen, da diese als Roboterschwarm besser skalierbar sind und somit auch für kleinere Betriebe eine interessante Alternative zu bisherigen großtechnischen Lösungen darstellen könnten. Daneben beziehen sich die wenigen bisher durchgeführten Studien zur Akzeptanz autonomer Feldroboterkonzepte vor allem auf den nordamerikanischen Raum. Hier muss überprüft werden, ob sich die gefundenen Ergebnisse auf die deutsche Landwirtschaft übertragen lassen oder ob Unterschiede bestehen. Offen ist bislang auch die Frage geblieben, ob sich ggf. die Wahrnehmungen verschiedener Stakeholdergruppen, wie Landwirten, Landmaschinenherstellern oder der Gesellschaft als Ganzes, unterscheiden. Denn einerseits versprechen Feldroboter ökologische Vorteile durch gezieltere Ausbringung bspw. von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, eine bodenschonendere Wirtschaftsweise sowie eine geringere Lärmbelastung; andererseits verfügen autonome Feldroboter auf lange Sicht aber auch über das Potential, den Landwirt zunehmend zu ersetzen (19). Daher sind unterschiedliche Bewertungen der Technologie durchaus wahrscheinlich. Ebenso wäre eine vertiefte Analyse möglicher regionaler Unterschiede der Akzeptanz von autonomen Feldrobotern wünschenswert, um auf diese Weise mögliche Akzeptanzhemmnisse und -treiber aufzudecken und damit die Chancen dafür zu verbessern, dass sich eine vielversprechende Technologie in der Landwirtschaft etabliert.

Zusammenfassung

Akzeptanz autonomer Feldroboter im Ackerbaueinsatz: Status quo und Forschungsbedarf

Autonome Technologiekonzepte sind auf dem Vormarsch. Neben der Automobilindustrie und einigen anderen Branchen erfährt auch die Landwirtschaft als potentiell Einsatzgebiet zunehmend Aufmerksamkeit, was Fragen zur Technologieakzeptanz aufwirft. Zur Beantwortung dieser Fragen bedarf es zunächst eines Überblicks über den Stand der Forschung. Auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche skizziert dieser Beitrag zunächst exemplarisch den aktuellen Einsatz autonomer, bodengebundener Feldroboterkonzepte im Ackerbau. Es folgt ein Überblick über die Forschung zur Akzeptanz von Precision Agriculture-Technologien (PAT) und autonomen Feldrobotern, die unter PAT subsummiert werden können. Insgesamt wurden 35 wissenschaftliche Beiträge zu landwirtschaftlichen Feldrobotern und 11 wissenschaftliche Beiträge aus dem Bereich der Akzeptanzforschung als besonders relevant eingestuft und analysiert. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Erforschung der Akzeptanz autonomer Feldroboterkonzepte bisher kaum Beachtung fand, während andere Precision Agriculture-Technologien (PAT) wie GPS-gestützte Lenksysteme oder die teilflächenspezifische Ausbringung von Dünger oder Pflanzenschutzmitteln bereits wiederholt Gegenstand entsprechender Untersuchungen waren. Die Ergebnisse zeigen vielfältige Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsarbeiten auf. Besonders interessant wäre in diesem Zusammenhang eine vergleichende Betrachtung der Akzeptanz autonomer Feldroboterkonzepte mit der Akzeptanz bisheriger, mehr oder weniger etablierter PAT in Deutschland.

Summary

Acceptance of autonomous agricultural robots in arable farming: Status quo and research needs

Autonomous technology concepts are on the rise. Beside the automotive industry and some other industries agriculture, too, is the subject of increased attention as a potential area of application. This raises questions about technology acceptance. To answer these questions, an overview of the state of research is needed first. Based on a comprehensive literature review, this article starts by outlining the current use of autonomous, ground-based agricultural robots in arable farming. This is followed by an overview of research on the acceptance of precision agriculture technologies (PAT) and autonomous agricultural robots, which can be subsumed under PAT. A total of 35 scientific contributions to agricultural robots and 11 scientific contributions to the field of acceptance research were classified as particularly relevant and analysed. The result indicated that research on the acceptance of autonomous agricultural robotic concepts has received little attention so far while

other Precision Agriculture Technologies (PAT) such as GPS-based steering systems or site-specific application of fertilizers or pesticides have repeatedly been the subject of research. The results reveal numerous starting points for further research. In this context, a comparative analysis of the acceptance of autonomous agricultural robot concepts with the acceptance of existing, more or less established PAT in Germany would be particularly interesting.

Literatur

1. AUBERT, B.A., A. SCHROEDER und J. GRIMAUDDO (2012): IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. In: *Decision Support Systems* 54 (1): 510–520, DOI:10.1016/j.dss.2012.07.002.
2. BAC, C.W., T. ROORDA, R. RESHEF, S. BERMAN, J. HEMMING und E.J. VAN HENTEN (2016): Analysis of a motion planning problem for sweet-pepper harvesting in a dense obstacle environment. In: *Biosystems Engineering* 146: 85–97, DOI:10.1016/j.biosystemseng.2015.07.004.
3. BECHAR, A. und M. EBEN-CHAIME (2014): Hand-held computers to increase accuracy and productivity in agricultural work study. In: *International Journal of Productivity and Performance Management* 63 (2): 194–208.
4. BECHAR, A. und C. VIGNEAULT (2016): Agricultural robots for field operations: Concepts and components. In: *Biosystems Engineering* 149: 94–111, DOI:10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014.
5. BOOTE, D.N. und P. BEILE (2005): Scholars before Researchers: On the Centrality of the Dissertation Literature Review in Research Preparation. In: *Educational Researcher* 34 (6): 3–15, DOI:10.3102/0013189X034006003.
6. BRAUER, R. (2017): Akzeptanz kooperativer Roboter im industriellen Kontext. Chemnitz, Universitätsverlag.
7. CASTLE, M.H., B.D. LUBBEN und J.D. LUCK (2016): Factors Influencing the Adoption of Precision Agriculture Technologies by Nebraska Producers, Presentations, Working Papers, and Gray Literature: Agricultural Economics Paper 49. In: <http://digitalcommons.unl.edu/ageconworkpap/49>.
8. CHLINGARYAN, A., S. SUKKARIEH und B. WHELAN (2018): Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 151: 61–69, DOI:10.1016/j.compag.2018.05.012.
9. CHOI, K.H., S.K. HAN, S.H. HAN, K.-H. PARK, K.-S. KIM und S. KIM (2015): Morphology-based guidance line extraction for an autonomous weeding robot in paddy fields. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 113: 266–274, DOI:10.1016/j.compag.2015.02.014.
10. CHRISTEN, M. (2004): Schuldige Maschinen? Autonome Systeme als Herausforderung für das Konzept der Verantwortung. In: Honnefelder, L. und C. Streffer (Hrsg.): *Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik* 9. Walter de Gruyter, Berlin.
11. DABBERT, S., E. BERG, R. HERRMANN, S. PÖCHTRAGER und K. SALHOFER (2009): Kompass für agrarökonomische Zeitschriften: Das GEWISOLA-ÖGA-Publikationsranking. Arbeitspapier. In: *Agrarwirtschaft* 58 (2): 109–113.
12. DEVITT, S.K. (2018): Cognitive Factors that Affect the Adoption of Autonomous Agriculture. In: *Farm Policy Journal* 15 (2): 49–60.
13. ERICKSON, B., J. LOWENBERG-DEBOER und J. BRADFORD (2017): 2017 Precision Agricultural Service Dealership Survey. In: <http://agribusiness.purdue.edu/files/file/croplife-purdue-2017-precision-dealer-survey-report.pdf>.

14. FLETCHER, L., G. LOY, N. BARNES und A. ZELINSKY (2005): Correlating driver gaze with the road scene for driver assistance systems. In: *Robotics and Autonomous Systems* 52 (1): 71–84, DOI:10.1016/j.robot.2005.03.010.
15. GAUS, C.C., T. F. MINßEN, L.M. URSO, T. DE WITTE und J. WEGENER (2017): Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Schlussbericht. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei; Technische Universität Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge; Julius Kühn-Institut, Braunschweig.
16. HART, C. (1999): *Doing a literature review: Releasing the social science research imagination*. Los Angeles, SAGE.
17. HERTZBERG, J. (2014): *Autonome Systeme in der Landwirtschaft*. Darmstadt, KTBL.
18. HEUSER, S., M. DEMMEL, J. PFEIFFER und M. GANDORFER (2018): Automatisierte mechanische Unkrautregulierung. In: RUCKELSHAUSEN, A., A. MEYER-AURICH, K. BORCHARDT, C. HOFACKER, J.-P. LOYS, R. SCHWERDTFEGGER, H.-H. SUNDERMEIER, H. FLOTO und B. THEUVSEN (Hrsg.): *Digitale Marktplätze und Plattformen. Lecture Notes in Informatics 278*, Gesellschaft für Informatik, Bonn: 99–102.
19. HILLERBRAND, F., M. TREIBER, J. BAUERDICK und H. BERNHARDT (2019): Robotik in der Außenwirtschaft – Entwicklungskonzepte und tendenzielle Einflussmöglichkeiten auf die Prozesssteuerung durch den Landwirt. In: MEYER-AURICH, A., M. GANDORFER, N. BARTA, A. GRONAUER, J. KANTELHARDT und H. FLOTO (Hrsg.): *Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? Lecture Notes in Informatics 287*, Gesellschaft für Informatik, Bonn: 77–82.
20. KIM, H. und D. SHIM (2003): A flight control system for aerial robots: algorithms and experiments. In: *Control Engineering Practice* 11 (12): 1389–1400, DOI:10.1016/S0967-0661(03)00100-X.
21. KING, A. (2017): Technology: The Future of Agriculture. In: *Nature* 544 (7651): 21–23, DOI:10.1038/544S21a.
22. KUTTER, T., S. TIEMANN, R. SIEBERT und S. FOUNTAS (2011): The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. In: *Precision Agriculture* 12 (1): 2–17, DOI:10.1007/s11119-009-9150-0.
23. MAXWELL, J.A. (2006): Literature Reviews of, and for, Educational Research: A Commentary on Boote and Beile's "Scholars before Researchers". In: *Educational Researcher* 35 (9): 28–31.
24. NOF, S.Y. (2009): *Springer Handbook of Automation*. Berlin, Heidelberg, Springer.
25. OETKER, R. (1956): Was heißt "Automatisieren"? In: *Regelungstechnik* 9: 210–213.
26. POPA, C. (2011): Adoption of Artificial Intelligence in Agriculture. In: *Bulletin UASVM Agriculture* 68 (1): 284–293.
27. RIAL-LOVERA, K. (2018): Agricultural robots: drivers, barriers and opportunities for adoption. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture, 24.06.-27.06.2018, Montreal*.
28. ROLDÁN, J.J., J.D. CERRO, D. GARZÓN-RAMOS, P. GARCIA-AUNON, M. GARZÓN, J.D. LEÓN und A. BARRIENTOS (2018): Robots in Agriculture: State of Art and Practical Experiences. In: *Service Robots*. NEVES, A.J.R. (Hrsg.), InTech, DOI: 10.5772/65536.
29. SACK, W. (2005): *Eicher-Traktoren und Landmaschinen*. Brilon, Podszun Verlag.
30. SCHIMMELPFENNIG, D. und R. EBEL (2016): Sequential Adoption and Cost Savings from Precision Agriculture. In: *Journal of Agricultural and Resource Economics* 41 (1): 97–115.
31. SCHLEICHER, S. und M. GRANDORFER (2018): Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In: RUCKELSHAUSEN, A., A. MEYER-AURICH, K. BORCHARDT, C. HOFACKER, J.-P. LOYS, R. SCHWERDTFEGGER, H.-H. SUNDERMEIER, H. FLOTO und B. THEUVSEN (Hrsg.): *Digitale Marktplätze und Plattformen. Lecture Notes in Informatics 278*, Gesellschaft für Informatik, Bonn: 203–206.
32. SCHUELLER, J.K. (2006): Section 4.1 Automation and Control. In: *CIGR Handbook of Agricultural Engineering* (6): 185–195, DOI:10.13031/2013.21673.

33. SHAMSHIRI, R. (2013): A Review of Greenhouse Climate Control and Automation Systems in Tropical Regions. In: *Journal of Agricultural Science and Applications* 02 (03): 175–182, DOI:10.14511/jasa.2013.020307.
34. SHAMSHIRI, R., C. WELTZIEN, I. HAMEED, J. YULE, T. GRIFT, S. BALASUNDRAM, L. PITONAKOVA, D. AHMAD und G. CHOWDHARY (2018): Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. In: *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 11 (4): 1–11, DOI:10.25165/j.ijabe.20181104.4278.
35. THOMPSON, N.M., C. BIR, D.A. WIDMAR und J.R. MINTERT (2018): Farmer Perceptions of Precision Agriculture Technology Benefits. In: *Journal of Agricultural and Applied Economics* 40: 1–22, DOI:10.1017/aae.2018.27.
36. TORREZ, C., N. MILLER, S. RAMSEY und T. GRIFFIN (2016): Factors Influencing the Adoption of Precision Agricultural Technologies by Kansas Farmers. In: <https://www.agmanager.info/sites/default/files/pdf/Precision%20Ag%20Technology%20Adoption.pdf>.
37. VAN HENTEN, E.J., J.W. HOFSTEE, J. MÜLLER und A. RUCKELSHAUSEN (2007): The Field Robot Event - An International Design Contest in Agriculture Engineering. In: *Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture*, 03.06.2007, Skiathos.
38. VOIGT, K.-I. (2019): *Gabler Wirtschaftslexikon: Das Wissen der Experten*, Springer Gabler.
39. WEGENER, J.K., D. VON HÖRSTEN und L.-M. URSO (2018): Mit Spot Farming zur nachhaltigen Intensivierung in der Pflanzenproduktion. In: *Julius-Kühn-Archiv* 458 / 194, DOI:10.5073/jka.2018.458.002.
40. WOLFERT, S., L. Ge, C. VERDOUW und M.-J. BOGAARDT (2017): Big Data in Smart Farming – A Review. In: *Agricultural Systems* 153: 69–80, DOI:10.1016/j.agsy.2017.01.023.
41. XIANG, R., H. JIANG und Y. YING (2014): Recognition of clustered tomatoes based on binocular stereo vision. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 106: 75–90, DOI:10.1016/j.compag.2014.05.006.
42. ZHOU, X.V., B.C. ENGLISH, J. LARSON, D.M. LAMBERT, R.K. ROBERTS, C.N. BOYER, M. VELANDIA, L.L. FALCONER und S.W. MARTIN (2017): Precision farming adoption trends in the Southern U.S. In: *Journal of Cotton Science* 21 (2): 143–155.

Anschrift der Autoren

Friedrich Rübcke von Veltheim
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agarökonomie und RURale Entwicklung
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen
E-Mail: veltheim@uni-goettingen.de
Friedrich Rübcke von Veltheim

Prof. Dr. Ludwig Theuvsen
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agarökonomie und RURale Entwicklung
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen
E-Mail: theuvsen@uni-goettingen.de

Dr. Heinke Heise
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agarökonomie und RURale Entwicklung
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen
E-Mail: heinke.heise@agr.uni-goettingen.de