



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 100 | Ausgabe 2

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Precision Farming – Nullnummer oder Nutzbringer?

Eine empirische Studie unter Landwirten

Von Winnie Isabel Sonntag, Nico Wienrich, Maximilian Severin, Dorothee Schulze Schwering

1 Einleitung

Klimaveränderungen, steigende Umweltauflagen, Flächenschwund und das Wachstum der Weltbevölkerung verändern aktuell die landwirtschaftliche Praxis in einem schnellen und intensiven Maße. Viele bisherige Produktionsbedingungen und -prozesse sind nicht länger tragbar und müssen veränderten Bedingungen angepasst werden, um langfristig die Lebensmittelerzeugung sicherzustellen (SCHLEICHER & GANDORFER, 2018). Zudem begleiten gesellschaftliche Diskussionen über Klima-, Umwelt-, Tier-, Boden- und Biodiversitätsschutz diese Entwicklung und stellen Landwirte nicht selten vor Herausforderungen (DETER, 2019).

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Digitalisierung mit ihren vielseitigen Potenzialen derzeit so stark an Bedeutung, wie keine andere Innovation. Die Digitalisierung bietet Potenzial, die Lebensmittelerzeugung umweltschonender und nachhaltiger zu gestalten (MOYSIADIS ET AL., 2021; KLERKX ET AL., 2019; WALTER ET AL., 2017). Eine vielversprechende Technologie in diesem Zusammenhang, die aktuell zunehmend Einzug in die Landwirtschaft hält, ist Precision Farming (PF). Durch den Einsatz von Positionsbestimmungssystemen (GPS) und Stickstoff-Sensoren kann der Output bezogen auf den Input gesteigert werden, da landwirtschaftliche Nutzflächen durch den Einsatz dieser Technik ortsdifferenziert und präzise bewirtschaftet werden können (MOYSIADIS ET AL., 2021; BLASCH ET AL., 2020; NOACK, 2016). Trotz der Vorteile der Technologie, wie dem effizienteren Einsatz von Betriebsmitteln oder Möglichkeiten der Arbeitsautomatisierung, findet die Anwendung von Precision Farming auf landwirtschaftlichen Betrieben nur zögerlich statt (LANGENBERG ET AL., 2017). Aktuell existieren zwar Studien über die Treiber und Barrieren der PF-Anwendung unter Landwirten, allerdings gibt es nur wenige Untersuchungen von deutschen Landwirten. Zudem handelt es sich bei der Anwendung um einen Lernprozess (KUTTER ET AL., 2011). Dadurch können sich die Motive zur Anwendung über einen längeren Zeitabschnitt stark verändern. Die bisherigen Vorteile der Technologien scheinen für die Landwirte noch nicht überzeugend genug – möglicherweise überwiegen bislang die Nachteile (BLASCH ET AL., 2020; KNIERIM ET AL., 2018; SCHLEICHER & GANDORFER, 2018). Zudem ist wenig erforscht, welchen

Nutzen Landwirte sich von PF versprechen, welche Motive zur Nutzung führen und was die größten Hemmnisse sind.

Das Ziel der Studie ist daher, aktuelle Motive für die Adaption von Precision Farming bei deutschen Landwirten anhand einer Online-Umfrage zu untersuchen. Zudem wird analysiert, was Hersteller von PF aus Sicht der Landwirte verbessern sollten, um die Attraktivität der Technologie zu steigern. Anhand der gewonnenen Ergebnisse können Handlungsempfehlungen für die verschiedenen Akteure der landwirtschaftlichen Branche abgeleitet werden, um die Technologien präziser an die Bedürfnisse der Anwender anzupassen. Durch ein besseres Verständnis der Motive von Nutzern und Hemmnisse von Nichtnutzern kann die Verbreitung von Precision Farming in Deutschland gefördert werden.

2. Stand der Forschung

2.1 Precision Farming in der Praxis

Neben Precision Farming gibt es weitere Begriffe, die synonym in der Literatur verwendet werden. Im deutschsprachigen Raum werden Begriffe wie Teilflächenbewirtschaftung, Präzisionspflanzenbau, kleinräumige Bestandsführung oder teilflächenspezifische Bewirtschaftung genutzt. Im englischsprachigen Raum sind oftmals die Begriffe precision agriculture, site-specific farming oder grid farming typische Synonyme (BLASCH ET AL., 2020; RÖSCH ET AL., 2005). In dieser Studie wird ausnahmslos der Begriff Precision Farming verwendet.

Precision Farming umfasst die zielgerichtete und ortsdifferenzierte Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Nutzflächen (PÖßNECK, 2011). Hierzu werden unterschiedliche Verknüpfungen aus GIS-fähigen Bordcomputern, satellitengestützten Ortungssystemen und Sensoren zur Analyse von Boden- und Pflanzenzuständen genutzt. Bei Precision Farming handelt es sich nicht nur um die Technologie, sondern auch um das Management der ackerbaulichen Variabilität (zeitlich und räumlich). Das heißt mittels Precision Farming können die Treiber für Veränderungen bestehender Systeme, also die Verbesserung von wirtschaftlichen Erträgen bei gleichzeitiger Reduktion von Umweltbeeinträchtigungen, erfasst werden. Dadurch arbeiten die Technologien an einer Effizienzsteigerung des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses (SCHROEDER ET AL., 2022). Die teilflächenspezifische Betrachtung von Boden und Pflanzenbeständen eröffnet Potenziale zur genaueren Ausbringung landwirtschaftlicher Betriebsmittel und kann dadurch den Ressourceneinsatz reduzieren und die Verteilung optimieren (FINGER ET AL., 2019). Insgesamt werden so Effizienzgewinne aufgrund des verminderten Betriebsmitteleinsatzes und der exakten Applikation erzeugt (WAGNER, 2010). Kleinräumige Differenzen in Bezug auf die Wachstumsbedingungen sind auf nahezu jeder Ackerfläche vorzufinden. Diese zu erkennen und mit entsprechenden Maßnahmen darauf zu reagieren, ist die Herausforderung im Ackerbau. Bei der Erfüllung dieser Aufgabe stellt Precision

Farming bspw. mit der Section-Control-Funktion zur Sicherstellung der Applikationsgenauigkeit bei wechselnden Applikationsmengen ein wichtiges Element dar (HÜTER ET AL., 2005; RECKE ET AL., 2022). Wesentliche Verfahrensschritte vom Precision Farming sind Datenerfassung, -management und -interpretation nach agronomischen Entscheidungsregeln oder -modellen und zuletzt die Anwendung der gewonnenen Informationen in Bewirtschaftungsmaßnahmen (THÖLE, 2010). Bei der Betrachtung der Beziehung zwischen Datenerfassung und Anwendung der gewonnenen Daten in einer ackerbaulichen Maßnahme kann grundsätzlich zwischen der Düngung auf schlageinheitlicher und teilflächenspezifischer Ebene mit variabler Ausbringmenge unterschieden werden. Die variable Düngung lässt sich dann weiter unterteilen nach:

- dem Kartenansatz (Offline-Ansatz)
- dem Sensoransatz (Online-Ansatz)
- dem kombinierten Verfahren (Sensoransatz mit Kartenüberlagerung) (EHLERT, 2010).

Bei Offline-Verfahren besteht zwischen den bereits oben genannten Verfahrensschritten der Datenerfassung, -verarbeitung und Durchführung einer Bewirtschaftungsmaßnahme kein direkter zeitlicher Zusammenhang (THÖLE, 2010). Der einzelne Schlag wird dabei in kleine, rechteckige, sogenannte Rasterzellen aufgeteilt, die mit Koordinaten versehen sind. Jeder Zelle im Raster wird dann ein Soll- oder Applikationswert für die entsprechende Bewirtschaftungsmaßnahme zugewiesen, woraus eine Applikationskarte entsteht. Die Basisinformationen, aus denen die Applikationswerte abgeleitet werden, können bspw. Ertragswerte, Bodenkarten oder Vegetationsindizes aus Satellitenbildern sein (LUDOWICY ET AL., 2002). Die Sollwerte für die zu applizierenden Düngermengen werden online oder mittels Datenträger auf das Terminal des Traktors oder der Ausbringmaschine übertragen, sodass darauf basierend die Maschinensteuerung erfolgen kann. Für die Zuordnung der Sollwerte aus der Applikationskarte zur Position der Maschine und der georeferenzierten Aufzeichnung der tatsächlich applizierten Nährstoffmenge ist ein Positionierungssystem, wie das Global Positioning System (GPS) notwendig (EHLERT, 2010). Mit diesen Werten kann ein Abgleich mit den zuvor festgelegten Sollwerten durchgeführt werden (THÖLE, 2010). Offline-Verfahren sind vorteilhaft, wenn die Parameter, die durch die Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst werden sollen, über die Zeit relativ stabil bleiben, wie z. B. die Versorgung mit Grundnährstoffen oder die Startgabe von Stickstoff im Frühjahr. Dies ist notwendig, da die erhobenen Daten aus Bodenuntersuchungen schon einige Wochen alt sein können, aber beispielsweise erst im Frühjahr in einer Düngerapplikationskarte Anwendung finden (RÖSCH ET AL., 2005). Darüber hinaus lässt sich durch die vor der Bewirtschaftungsmaßnahme festgelegten Rasterdaten die insgesamt zu applizierende Menge berechnen, sodass Restmengen vermieden werden können (KLUGE, 2011). Einschränkungen

zeigen sich durch den Arbeitsaufwand und die anfallenden Kosten für die Bodenbeprobungen und -analysen. Ein weiterer Nachteil besteht in der Verwaltung und Analyse der großen Datenmengen sowie dem Arbeitsaufwand der Entscheidungsfindung mit Hilfe von geeigneten Regeln und Modellen (KARPINSKI, 2014; MEYER-AURICH ET AL., 2008). Bei der Nutzung von Ertragskarten können die Ertragsmuster in den Folgejahren der Datenerhebung oftmals voneinander abweichen. Das Erstellen von Applikationskarten für die Stickstoffdüngung auf Basis von Ertragskarten aus dem vorherigen Jahr kann daher zu größeren Abweichungen von den tatsächlichen Versorgungszuständen der Pflanzen führen (BLACKMORE, 2002; SCHROEDER ET AL., 2022).

Online-Verfahren sind im Vergleich zu Offline-Verfahren zeitlich integriert. Dabei werden die für die Maßnahme relevanten Merkmale, wie z. B. die Stickstoffversorgung des Bestands durch ihre optischen, mechanischen oder biochemischen Eigenschaften direkt im Feld durch Sensoren erfasst (KARPINSKI, 2014). Am Traktor angebrachte Sensoren oder Kameras nehmen kontinuierlich ein Signal oder ein Bild auf. Die gemessenen Daten werden mit den entsprechenden Hard- und Softwarelösungen auf dem Traktor direkt in einen Sollwert überführt, nach dem dann die Bewirtschaftungsmaßnahme (z. B. Stickstoffdüngung) unmittelbar gesteuert wird (KLUGE, 2011). Online-Verfahren werden vor allem dann eingesetzt, wenn es sich um schnell ändernde Bedingungen handelt und dadurch eine möglichst aktuelle Datengrundlage notwendig ist, wie bei dem Stickstoffbedarf der Kulturpflanzen in der Vegetationsphase (RÖSCH ET AL., 2005). Der Online-Ansatz ist für die Praxis attraktiv, weil Arbeitszeit und -aufwand durch die Erstellung von Applikationskarten im Vergleich zum Offline-Ansatz entfallen (THÖLE, 2010). Für die Erfassung der Bestandsparameter werden Algorithmen eingesetzt, die zunächst über Richt- oder Orientierungswerte durch Fachkenntnisse des Anwenders aus bisherigen Maßnahmen kalibriert werden müssen (EHLERT, 2010).

Im Online-Verfahren mit Kartenüberlagerung wird der Sensoransatz mit dem Kartenansatz verknüpft. Hierbei werden die Informationen, die mit Echtzeitsensoren erfasst werden, mit Werten aus vorhandenen Karten abgeglichen und fließen dann in die Applikationssteuerung ein (EHLERT, 2010). Durch die Zusammenführung der beiden Systeme in einem Ansatz kann die zu applizierende Düngemenge auf Grundlage einer größeren Datenbasis berechnet werden. Eine exaktere Anpassung der Düngung an den realen Stickstoffbedarf der Pflanzen wird dadurch ermöglicht. Dennoch ist der Arbeitsaufwand wie beim Offline-Ansatz nicht zu vernachlässigen. Zudem steigen die Kosten, da Systeme und Software aus beiden oben genannten Ansätzen miteinander verknüpft werden (RÖSCH ET AL., 2005).

2.2 Ökonomische Bewertung

Nach den Untersuchungen von MEYER-AURICH ET AL. (2008) ist es wichtig, dass eine ökonomische Bewertung von Precision Farming relevante monetäre und nichtmonetäre Aspekte berücksichtigt. Hierzu zählen unter anderem die Auswirkungen auf Ernteertrag, Betriebsmitteleinsatz, Veränderungen im Management und Arbeitsqualität (vgl. Tab. 1) (MEYER-AURICH ET AL., 2008).

Tabelle 1:
Ökonomische Effekte des Einsatzes von Precision Farming

Kostenarten durch Precision Farming	<ul style="list-style-type: none"> • Informationskosten • Datenverarbeitungskosten • Kosten der Managementanpassungen • Lernkosten
Zusatznutzen durch Precision Farming	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderung des Produktionsrisikos • Ertragseffekte • Veränderung der Inputmengen • Veränderungen im Management • Arbeitsqualität

Quelle: In Anlehnung an MEYER-AURICH ET AL. (2008)

Zu den Leistungen, die die Einführung von PF-Technologien mit sich bringen kann, zählt unter anderem die Minderung von Produktionsrisiken, da die Betriebsmittel nur dort eingesetzt werden, wo sie auch benötigt werden (LOWENBERG-DEBOER, 1999). Der Einsatz von Precision Farming zeigt weitere positive Effekte auf die Risikominimierung bei der Produktion von Backweizen, sodass die Proteingehalte weniger häufig unter 13 % liegen (NADI KARATAY ET AL., 2018). Weitere Vorteile bei der Anwendung von Precision Farming ergeben sich aus Ertragseffekten bei gleichzeitig vermindertem Einsatz von Betriebsmitteln. Außerdem führt sie zu einer effizienteren Betriebsführung aufgrund verbesserter Kommunikationsmöglichkeiten und höherer Arbeitsqualität durch stärker automatisierte Arbeitsabläufe (MEYER-AURICH ET AL., 2008).

2.3 Ökologische Bewertung

Neben ökonomischen Vorteilen bietet der Einsatz von PF positive Effekte auf die Umwelt (FINGER ET AL., 2019; PÖBNECK, 2011; EHLERT, 2010; BONGIOVANNI & LOWENBERG-DEBOER, 2004). Bei der differenzierten Stickstoffdüngung können Düngereinsparungen bei gleichen oder höheren Erträgen erzielt werden (RÖSCH ET AL., 2005). Düngemittel werden nur dort ausgebracht, wo sie von den Pflanzen aufgenommen werden können. Dadurch werden unproduktive Überschüsse vermieden, die sonst potenziell zu negativen Umweltbeeinträchtigungen führen können (GANDORFER, 2006). Aber auch bei der Aussaat, Bodenbearbeitung oder dem Pflanzenschutz ergeben sich Einsparungspotenziale durch den Einsatz von PF (RÖSCH ET AL., 2005). Zudem konnte WAGNER (2010) vor allem beim kombinierten Ansatz Potenziale der Düngereinsparungen nachweisen. Im Rahmen des pre-agro-II-Projektes konnten durch die Nutzung von Precision Farming blütenreiche Ackerbereiche besser erhalten und gefördert werden. Zudem übt die Nutzung von PF einen positiven Einfluss auf den Erhalt der Kulturlandschaft sowie der Habitatfunktion von Ackerflächen und den Aufbau von integrierten Biotop-Verbundsystemen aus (REICHARDT & JÜRGENS, 2008).

Der Einsatz von PF bei der Düngung ist ein wichtiger Schritt, um die Pflanzenernährung ökologisch verträglicher zu machen (EBERTSEDER ET AL., 2003). MAIDL ET AL. (2004) zeigen, dass die Stickstoffnutzungseffizienz bei der teilflächenspezifischen Düngung im kombinierten Verfahren aus Sensoransatz mit Kartenüberlagerung im Winterweizen verbessert werden kann. Zudem hat sich die Homogenität in der Proteinkonzentration durch diesen Ansatz für den gesamten Schlag verbessert (MAIDL ET AL., 2004). GANDORFER (2006) zeigt, dass der Proteingehalt durch den kombinierten Ansatz um ein Prozent höher ist als bei konventioneller Düngung (GANDORFER, 2006). Dabei lassen sich so auf auswaschungsgefährdeten Teilschlägen hohe Bilanzüberschüsse und damit das Risiko eines möglichen Nitratreintrages in das Grundwasser vermeiden (SCHULTE-OSTERMANN & WAGNER, 2021; MAIDL ET AL., 2004). Auch VUOLO ET AL. (2019) kommen in ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass Precision Farming einen wesentlichen Einfluss auf die Einsparung von Ressourcen und die Reduktion von Umwelteinwirkungen haben kann (VUOLO ET AL., 2019). Mit der Auswertung von 15 Studien zu Umweltwirkungen von teilflächenspezifisch ausgebrachten Stickstoffdüngern bestätigen auch BONGIOVANNI UND LOWENBERG-DEBOER (2004), dass die Stickstoffauswaschung in den meisten Fällen verringert werden konnte (BONGIOVANNI & LOWENBERG-DEBOER, 2004).

Aus der Literaturrecherche lässt sich insgesamt ableiten, dass PF positive Leistungen für den Biotop- und Artenschutz, zum Beispiel durch das Aussparen sensibler Bereiche oder bei der Einhaltung von Nutzungsaufgaben (Abstandsaufgaben zu Fließgewässern) im Rahmen der Agrarpolitik erbringen kann (RÖSCH ET AL., 2005). Zudem ist es mit der Anwendung von Precision Farming möglich, Stickstoffüberschüsse abzubauen und so negative Umwelteinflüsse zu reduzieren (REICHE ET AL., 2002).

2.4 Motive zur Nutzung von Precision Farming

Trotz der aufgezeigten Vorteile ist die Anwendung von PF bislang sowohl in Deutschland als auch in der EU wenig verbreitet (BLASCH ET AL., 2020). Damit die Technologie von Precision Farming großflächig von Landwirten eingesetzt wird, ist das Wohlwollen gegenüber diesen Technologien seitens der Landwirte eine wesentliche Voraussetzung (RÖSCH ET AL., 2005). Allerdings sind die ökonomischen Vorteile, die durch die Anwendung von PF entstehen, nur in seltenen Fällen direkt sichtbar (GANDORFER & MEYER-AURICH, 2017; GANDORFER, 2006; RÖSCH ET AL., 2005). Kriterien, die einen wesentlichen Einfluss auf die Adaption von PF haben, sind unter anderem die Betriebsgröße, die angebauten Kulturen sowie die Heterogenität der Ackerflächen (KARPINSKI, 2014; WAGNER, 2010; GANDORFER, 2006; DABERKOW & MCBRIDE, 2003;). Seitens der Technologien führen zudem die technische Störanfälligkeit, Inkompatibilität, unklare ökonomische Vorteile, komplizierte Bedienung, fehlendes IT-Knowhow sowie ein hoher Investitionsbedarf zur Nicht-Nutzung von PF (BLASCH ET AL., 2020; SCHLEICHER & GANDORFER, 2018).

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass jüngere Betriebsleiter ein größeres technologisches Verständnis haben und durch ihre besseren Computerkenntnisse verstärkt Precision Farming auf ihren Betrieben einsetzen (PIERPAOLI ET AL., 2013; REICHARDT ET AL., 2009; RÖSCH ET AL., 2005). ROBERTS ET AL. (2004) zeigen in ihren Untersuchungen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und der Integration von PF-Technologien auf den Betrieben. Dabei nutzen junge Landwirte häufiger PF als ältere Betriebsleiter (ROBERTS ET AL., 2004; TAMIRAT ET AL., 2018; VECCHIO ET AL., 2020). Demgegenüber ist nach REICHARDT UND JÜRGENS (2008) davon auszugehen, dass die Mehrheit der Nutzer von Precision Farming zwischen 35 und 55 Jahre alt ist. Somit scheint das Alter einen Einfluss auf die Einführung von Precision Farming zu haben, obwohl nicht klar ist, welche Altersgruppe eher Precision Farming einsetzt. Einen positiven Einfluss auf die Anwendung von Precision Farming stellt zudem der Berufsabschluss nach den Untersuchungen von REICHARDT ET AL. (2009) und PIERPAOLI ET AL. (2013) dar. Die nötigen Kenntnisse zum Einsatz der Technologien und das gesteigerte Interesse Neues auszuprobieren, zeigen verstärkt die Landwirte mit einem höheren Berufsabschluss. Dabei haben im Befragungszeitraum von 2001 bis 2006 durchschnittlich 37,3 bis 40,4 % der PF-Nutzer einen Universitätsabschluss (REICHARDT ET AL., 2009). Die Wahrscheinlichkeit zur Adaption von PF steigt, je höher der Ausbildungsstand ist (PIERPAOLI ET AL., 2013; DABERKOW & MCBRIDE, 2003; VECCHIO ET AL., 2020). Allerdings konnten TAMIRAT ET AL., 2018 diesen Zusammenhang nicht nachweisen.

SCHAPER & GANDORFER (2018) zeigen in ihrer Forschung auf, dass der hohe Investitionsbedarf der wichtigste Grund gegen die Anwendung von Precision Farming ist. Große Betriebe sind eher gewillt in Precision Farming zu investieren, da sich die Technologien durch eine höhere Flächenausstattung und somit bessere Auslastung schneller amortisieren (KARPINSKI, 2014). Zudem zeigen die Betriebe durch

ihre größere Flächenausstattung auch ein gesteigertes Interesse an teil- oder vollautomatisierten Systemen (VUOLO ET AL., 2019). Nach REICHARDT ET AL. (2009) schwankt die durchschnittliche Betriebsgröße der Precision Farming-Nutzer zwischen 250 und 380 Hektar im Erhebungszeitraum seiner Studie von 2005 bis 2007, während der durchschnittliche landwirtschaftliche Betrieb 2005 mit 43,1 Hektar wesentlich kleiner war. Der Großteil der Betriebe, die PF angewendet haben, war in den neuen Bundesländern angesiedelt (REICHARDT ET AL., 2009). In der Studie von PAUSTIAN UND THEUVSEN (2016) zeigt sich, dass der Anteil der Precision Farming Nutzer bei den kleinen Betrieben (1 - 99 Hektar) bei 9 % liegt, während der Anteil auf den Großbetrieben mit über 500 Hektar bei 69 % liegt.

In Hinblick auf die ökonomische Bewertung identifizierte GANDORFER (2006) beim Einsatz des Offline-Ansatzes einen Vorteil der teilflächenspezifischen Düngung bei Winterweizen von - 10 €/Hektar (ha) bis + 11 €/ha. Beim kombinierten Ansatz in Winterweizen zeigt sich ein ökonomischer Vorteil von + 2 €/ha bis + 32 €/ha. Die Stickstoffbilanzsalden haben sich in der Auswertung kaum voneinander unterschieden (GANDORFER, 2006). Auch andere Ergebnisse aus der Literatur weisen nicht auf eindeutige wirtschaftliche Vorteile durch den Einsatz von teilflächenspezifischer Düngung hin (KARPINSKI, 2014; RÖSCH ET AL., 2005). Die Ergebnisse von WAGNER (2010) zeigen, dass die stickstoffkostenfreie Leistung durch den Offline-Ansatz 16,80 €/ha unter dem im Versuch angenommenen betriebsüblichen Durchschnitt liegen. Demgegenüber berechnet WAGNER (2010), dass die Leistung des Online-Ansatzes 1,70 €/ha und des kombinierten Ansatzes 24,20 €/ha über dem betriebsüblichen Durchschnitt liegt und somit ökonomische Vorteile mit sich bringen kann. Trotz der signifikanten Vorteile des kombinierten Ansatzes weist WAGNER (2010) auf die für die ökonomischen Ergebnisse entscheidenden Witterungsbedingungen und die schwierige Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte hin (WAGNER, 2010). GANDORFER (2006) zeigt, dass die ökonomischen Potenziale einer teilflächenspezifisch optimierten Düngung begrenzt sind, über die Jahre starken Schwankungen durch die Witterungseinflüsse unterliegen und von den Annahmen bei der teilflächenspezifischen Produktionsfunktion determiniert werden (GANDORFER, 2006). Durch die teilflächenspezifische Düngung lässt sich dennoch der Betriebsmitteleinsatz bei gleichbleibenden oder höheren Erträgen reduzieren (RÖSCH ET AL., 2005). Aus der geschilderten, unklaren ökonomischen Vorteilhaftigkeit der teilflächenspezifischen Düngung lässt sich die Vermutung ableiten, dass die unklaren ökonomischen Vorteile die Adaption von Precision Farming negativ beeinflussen.

Ein Faktor, der durch die Digitalisierung auch in anderen Bereichen immer wieder für Bedenken bei den Anwendern sorgt, ist der Datenschutz. Dabei ist die relative Nennung dieser Variable vom Zeitraum 2009 bis 2012 zu den Jahren 2013 bis 2016 stark angewachsen und zeigt die aktuelle Relevanz dieses Themas. Diese Problematik betrifft die Landwirte auch bei der Anwendung von Precision Farming, da hierbei teilweise sensible Betriebsdaten offengelegt werden (SCHLEICHER & GANDORFER, 2018). Es entstehen Zweifel dadurch, dass die Daten von Kreditgebern oder Regierungen zur

Betriebskontrolle genutzt werden könnten (RÖSCH ET AL., 2005). Tabelle 2 gibt einen Überblick über die aus der Literatur abgeleitete Zusammenfassung möglicher Einflüsse für die Nutzung bzw. Nichtnutzung von PF.

Tabelle 1:
Mögliche Einflüsse auf die Adaption von Precision Farming

Einflussfaktor	Einfluss auf die Precision Farming Nutzung	Quelle
Sozioökonomische Eigenschaften		
Alter	Höhere Nutzungswahrscheinlichkeit, je älter der Betriebsleiter	(RÖSCH, DUSSELDORP, & MEYER, 2005) (ROBERTS, ET AL., 2004) (DABERKOW & MCBRIDE, 2003)
	Höhere Nutzungswahrscheinlichkeit, desto jünger der Betriebsleiter	(REICHARDT & JÜRGENS, 2008) (PIERPAOLIE ET AL., 2013)(TAMIRAT ET AL., 2018) (VECCHIO ET AL., 2020)
Ausbildungsstand	Positiv	(DABERKOW & MCBRIDE, 2003) (REICHARDT, JÜRGENS, KLÖBLE, HÜTER, & MOSER, 2009)(PIERPAOLIE ET AL., 2013) (VECCIO ET A., 2020)
Betriebsspezifische und technologische Eigenschaften		
Betriebsgröße	Positiv	(KARPINSKI, 2014) (SCHLEICHER & GANDORFER, 2018) (REICHARDT, JÜRGENS, KLÖBLE, HÜTER, & MOSER, 2009) (GANDORFER, 2006)
Unklare ökonomische Vorteile	Negativ	(GANDORFER, 2006) (RÖSCH, DUSSELDORP, & MEYER, 2005) (KARPINSKI, 2014)
Datenschutz und -sicherheit	Negativ	(RÖSCH, DUSSELDORP, & MEYER, 2005) (SCHLEICHER & GANDORFER, 2018)

3. Datenerhebung und Studiendesign

Anhand einer Online-Umfrage wurden deutsche Landwirte zur Nutzung von sowie ihren Einstellungen zu PF gefragt. Die Akquise der Umfrageteilnehmer erfolgte über verschiedene Wege, wie beispielsweise über Kontakte von Hochschulen und Unternehmen im Bereich Precision Farming sowie über Social-Media-Kanäle von verschiedenen Agrarzeitungen und Verbänden. Die Teilnehmer konnten

ab dem 11. Januar 2021 vier Wochen lang teilnehmen. Die vollständige Beantwortung des Fragebogens dauerte etwa 10 Minuten.

Der Fragebogen wurde auf Grundlage der vorangegangenen Literaturanalyse entwickelt und gliedert sich in drei wesentliche Abschnitte. Nach einer kurzen Definition des Begriffs PF, folgte die Filterfrage, ob auf dem jeweiligen Betrieb Precision Farming eingesetzt wird oder nicht. Anschließend wurden Farmographics abgefragt. Im zweiten Teil wurden zum einen die Motive, die die Betriebe zum Einsatz von Precision Farming bewegen, aber auch die Zufriedenheit bezüglich der Technologie abgefragt. Im dritten Frageblock des zweiten Teils sollten die Teilnehmer die zukünftigen Entwicklungen von Precision Farming und der teilflächenspezifischen Düngung einschätzen. Da schon direkt zu Beginn der Umfrage zwischen Precision Farming einsetzenden und nicht einsetzenden Betrieben unterschieden wurde, wurden die Fragen im zweiten Block entsprechend für die beiden Gruppen individualisiert. Demzufolge wurden Betriebe, die kein Precision Farming einsetzen befragt, welche Faktoren sich verbessern müssen, damit sie die Technologie einsetzen. Im letzten Teil wurden soziodemografische Daten erfragt. Mit Ausnahme der betrieblichen und soziodemografischen Daten wurden die Fragen anhand einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 (stimme voll und ganz zu) bis 5 (lehne voll und ganz ab) gestellt.

Insgesamt nahmen 279 Landwirte an der Umfrage teil. Im Anschluss fand eine Datenbereinigung statt, bei der Datensätze von Teilnehmern entfernt wurden ($n=12$), die weniger als die Hälfte des Medians der Bearbeitungszeit benötigten (weniger als 2 Minuten).

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte größtenteils univariat. Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede wurden Kreuztabellen erstellt. Zur Überprüfung der Unabhängigkeit und damit einem signifikanten Unterschied der beiden Variablen, wurde der Chi-Quadrat-Test nach Pearson verwendet.

4. Ergebnisse

4.1 Beschreibung der Stichprobe

Das durchschnittliche Alter der Teilnehmer liegt bei 33,7 Jahren, womit die Stichprobe deutlich jünger ist als der nationale Durchschnitt aller Landwirte (PACHER et al., 2020). Ebenfalls ist der Anteil männlicher Teilnehmer mit 92,5 % deutlich überrepräsentiert. Mit knapp 50 % haben überdurchschnittlich viele Probanden einen Hochschulabschluss (Promotion, Diplom, Master oder Bachelor). 45,7 % der Betriebe sind aus Norddeutschland (Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein, Niedersachsen), 28,8 % aus Westdeutschland (Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Hessen), 10,9 % aus Ostdeutschland (Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen) und der kleinste Teil stammt aus den süddeutschen Bundesländern (Bayern und Baden-Württemberg) (13,1 %), was nicht exakt dem Bundesdurchschnitt entspricht (s. Tab. 3). In Bezug auf die bewirtschaftete Fläche sind die Betriebe zwischen 51 bis 100 Hektar mit 23,4 % und Betriebe mit 101

bis 200 Hektar mit 26,0 % - und damit große Betriebe – am stärksten vertreten. Somit sind die teilnehmenden Betriebe in der Stichprobe wesentlich größer als im Bundesdurchschnitt. Bei den Betriebsschwerpunkten ist der Ackerbau mit 82,0 % unter den Teilnehmern der Umfrage am stärksten vertreten. Dem folgen mit 52,8 % die Tierhalter / Veredelungsbetriebe, die Energieerzeuger mit 25,8 % und die Futter anbauenden Betriebe mit 24,0 %. In der Stichprobe werden 84,3 % der Betriebe im Haupterwerb und 15,0 % als Nebenerwerbsbetriebe geführt. Demgegenüber werden im Bundesschnitt rund 52 % der Betriebe im Nebenerwerb geführt (PASCHER ET AL., 2020). Von den befragten Betrieben wirtschaften 91,7 % konventionell, 3,4 % ökologisch und 4,9 % Betriebe wirtschaften sowohl konventionell als auch ökologisch. Eine Hofnachfolge steht bei 31,5 % der Betriebe aktuell nicht an, bei 46,4 % ist die Hofnachfolge allerdings bereits geklärt. 14,6 % geben an, dass die Hofnachfolge ansteht, aber noch nicht geklärt ist. Bei 3,7 % läuft der Betrieb in den nächsten Jahren aus. Zur Frage nach der zukünftigen strategischen Ausrichtung wollen 43,4 % der Betriebe den gegenwärtigen Stand halten, 31,5 % setzen auf Wachstum und 17,6 % wollen eine Nischenstrategie entwickeln.

Tabelle 2:
Beschreibung der Stichprobe

		Häufigkeit (n = 267)	Prozen- tualer Anteil (%)	Gesamt- population in der Landwirtschaft Erwerbstätiger (%)
Geschlecht	Ohne Angabe	1	0,4	-
	Männlich	246	92,5	63,7
	Weiblich	20	7,5	36,3
Alter (Jahre)	Unter 25	95	35,6	8,6
	26 bis 35	86	32,2	15,7
	36 bis 45	32	12,0	14,7
	46 bis 55	29	10,9	24,5
	Über 56	25	9,4	36,5
Berufsbildung	Promotion	7	2,6	1
	Diplom	25	9,4	3
	Master	35	13,2	4
	Bachelor	64	24,1	8
	Fachschulabschluss	64	24,1	34
	Lehre/ Berufsausbildung	49	18,4	43
	Kein beruflicher Abschluss	11	4,1	7
	Sonstiges	11	4,1	-
Herkunft	Keine Angabe	4	1,5	-
	Westdeutschland	77	28,8	24,7
	Süddeutschland	35	13,1	47,4
	Norddeutschland	122	45,7	20,2
	Ostdeutschland	29	10,9	7,3
Bewirt- schaftete Fläche (ha)	Keine Angabe	2	0,7	-
	5 bis 10 Hektar	4	1,5	25,1
	11 bis 20 Hektar	2	0,8	20,1
	21 bis 50 Hektar	26	9,8	23,4
	51 bis 100 Hektar	62	23,4	17,0
	101 bis 200 Hektar	69	26,0	9,4
	201 bis 500 Hektar	53	20,0	3,4
	501 bis 1000 Hektar	26	9,8	0,9
	Über 1000 Hektar	23	8,7	0,6
Bewirt- schaftungsform	Keine Angabe	2	0,7	-
	Konventionell	243	91,7	87,1
	Ökologisch	9	3,4	12,9
	Konventionell & ökologisch	13	4,9	-

Quelle: Eigene Erhebung; PASCHER et al., 2020

4.2 Beschreibung von Precision Farming Nutzern und Nicht-Nutzern

Zu Beginn der Umfrage wurde eine Filterfrage bezüglich der Nutzung von Precision Farming gestellt. Demnach setzen 185 Teilnehmer (69,3 %) Precision Farming auf ihrem Betrieb ein, während die übrigen 82 (30,7 %) diese Technologie nicht nutzen. Bei der Spezifizierung welche Technologie genau eingesetzt wird, zeigt sich, dass ein Großteil der Betriebe Lenksysteme einsetzen (95,1 %), gefolgt von teilflächenspezifischer Düngung (45,4 %), Ertragskartierung (40,0 %), teilflächenspezifischer Aussaat (33,0 %), teilflächenspezifischem Pflanzenschutz (31,9 %) und der teilflächenspezifischen Grunddüngung / Kalkung (27,6 %). Eher selten werden Feldroboter und Drohnen (7,6 %) sowie die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung (5,9 %) eingesetzt (vgl. Abb. 1). Die teilflächenspezifische Düngung betreffend nutzen von den 84 Betrieben, die diese anwenden, 49 den Offline-Ansatz. 20 Betriebe setzten den kombinierten Ansatz und 15 Betriebe den Online-Ansatz ein. Demnach scheint der Offline-Ansatz am häufigsten in der Praxis Anwendung zu finden. Die Ergebnisse stehen damit der Studie von KARPINSKI (2014) gegenüber. Nach ihren Ergebnissen kommt der Online-Ansatz in der landwirtschaftlichen Praxis am häufigsten zum Einsatz (KARPINSKI, 2014).

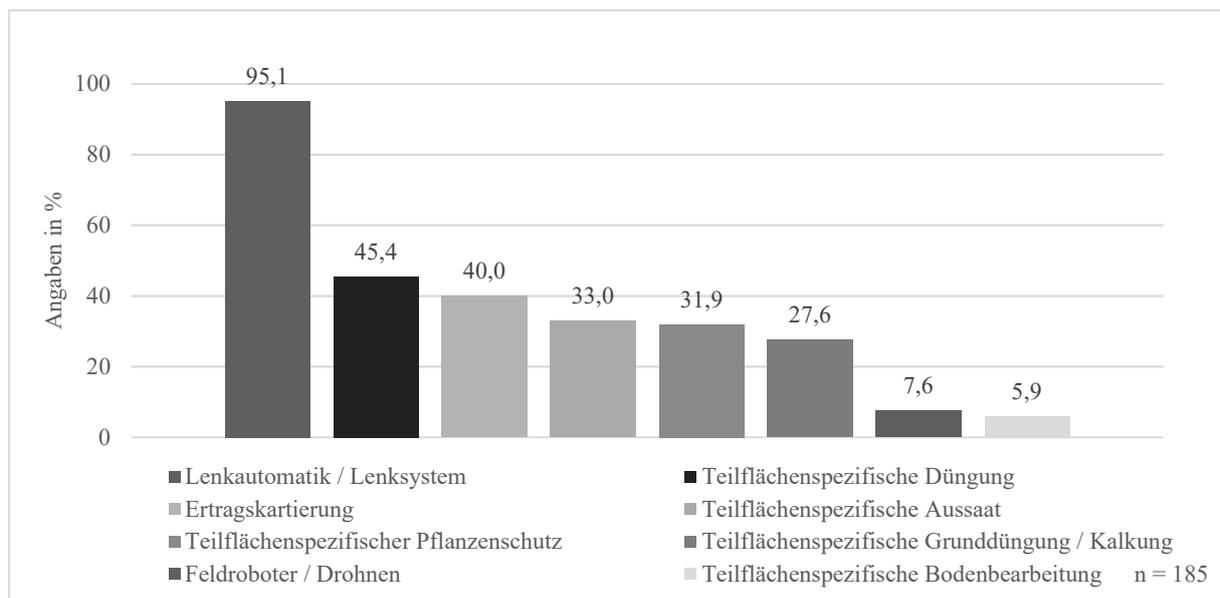


Abbildung 1: Nutzung der verschiedenen PF-Technologien (Mehrfachantwort war möglich) (Quelle: Eigene Berechnung)

In Bezug auf das Alter zeigt sich in Abbildung 2, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Nutzern von Precision Farming gibt. Die Hälfte der PF-Nicht-Nutzer gehört der Altersgruppe kleiner/gleich 25 Jahre an, in den mittleren Altersgruppen (26 bis 35 Jahre; 36 bis 45 Jahre) dagegen sind mit 37,8 % bzw. mit 14,6 % mehr PF-Nutzer vertreten. In den Altersgruppen 46 bis 55 und über 65 Jahren finden sich wieder mehr Nicht-PF-Nutzer als PF-Nutzer. Die Grafik verdeutlicht damit, dass die PF-Nicht-

Nutzer sowohl in den sehr jungen als auch in den älteren Altersklassen häufiger vertreten sind, während die PF-Nutzer verstärkt das mittlere Alterssegment abdecken.

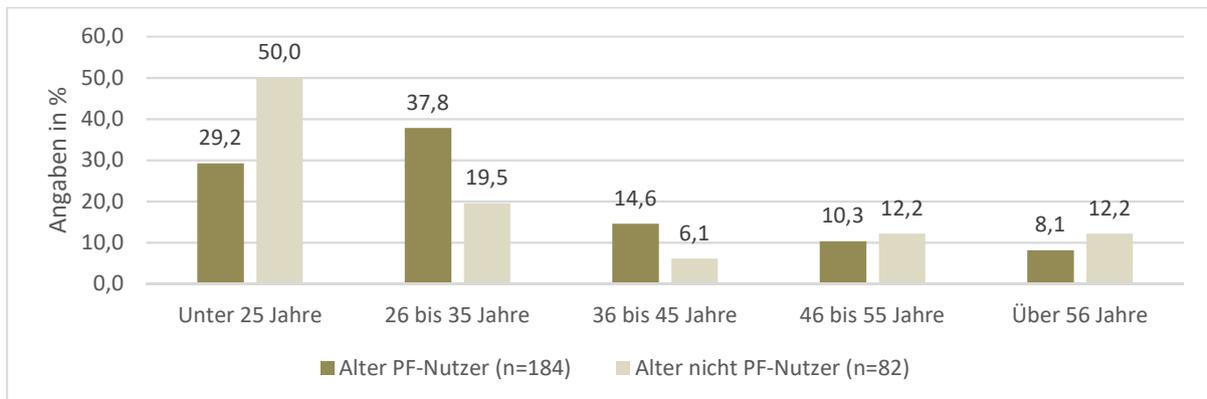


Abbildung 2: Altersgruppen der befragten Landwirte zur PF Nutzung (Quelle: Eigene Berechnung; Chi-Quadrat-Test nach Pearson hoch signifikant, weil $p < 0,01$)

Die Teilnehmer unterscheiden sich höchst signifikant hinsichtlich ihrer Berufsausbildung und ihres Einsatzes der Precision Farming Technologie. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Berufsbildungsabschlüsse unterteilt nach Precision Farming-Nutzern und den Betrieben, die Precision Farming nicht einsetzen. Es zeigt sich, dass die Betriebsleiter, die kein Precision Farming einsetzen, als Berufsbildungsabschluss vor allem die klassische Lehre / Berufsausbildung (24,4 %) oder einen Fachschulabschluss (31,7 %) absolviert haben. Dem gegenüber haben die Betriebsleiter, die Precision Farming einsetzen, mit 26,5 % überwiegend mindestens einen Bachelorabschluss. Aber auch bei den weiteren Hochschulabschlüssen, wie einem Master oder Diplom, liegen die Precision Farming einsetzenden Betriebe anteilmäßig über den nicht PF einsetzenden Betrieben.

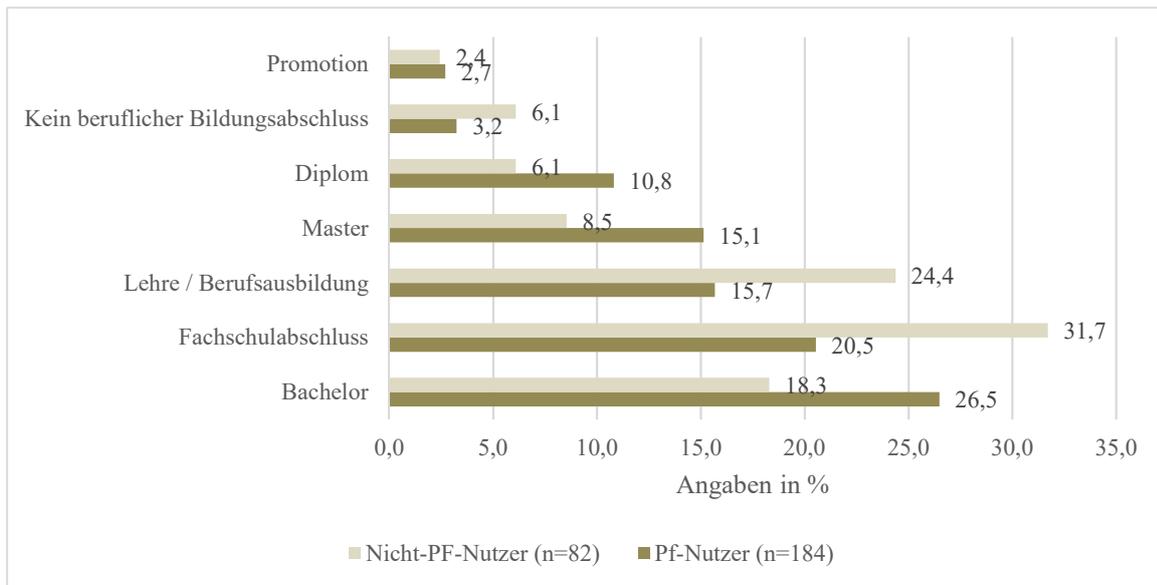


Abbildung 3: Berufsbildungsabschluss als Einflussgröße auf die PF-Nutzung (Quelle: Eigene Erhebung; Chi-Quadrat-Test nach Pearson höchst signifikant, weil $p < 0,01$)

Auch in Hinblick auf die Größe der Betriebe gemessen in Hektar gibt es höchst signifikante Unterschiede zwischen den PF-Nutzern. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Betriebsgrößen in Hektar, unterteilt nach den beiden Nutzer-Gruppen. Die PF einsetzenden Betriebe sind dabei deutlich stärker in den größeren Hektarklassen vertreten als die nicht Precision Farming einsetzenden Betriebe. Auf Betrieben mit 51 bis 100 Hektar ist das Verhältnis von PF-Nutzern und PF-Nichtnutzern stark zugunsten der PF-Nicht-Nutzer (37,8 %) ausgeprägt. Mit steigender Betriebsgröße nimmt der Anteil der PF-Nutzer zu, während der Anteil der PF-Nicht Nutzer abnimmt. Die meisten Nutzer (29 %) finden sich auf Betrieben mit 101 bis 200 Hektar.

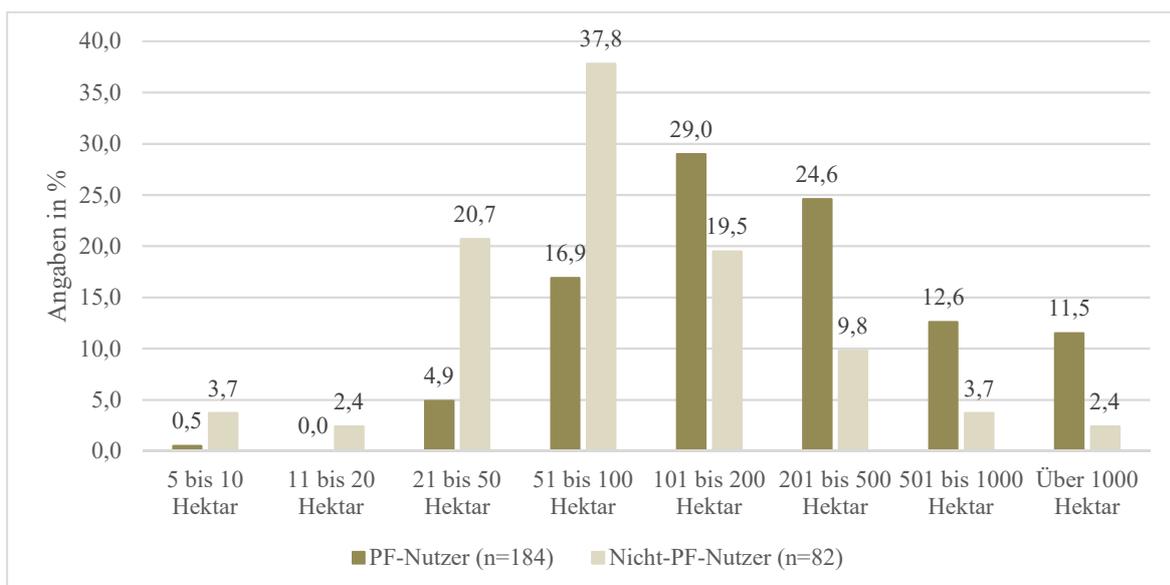


Abbildung 4: Bewirtschaftete Fläche als Einflussgröße auf die PF-Nutzung (Quelle: Eigene Erhebung; Chi-Quadrat-Test nach Pearson höchst signifikant, weil $p < 0,001$)

4.3 Barrieren und Potentiale einer Precision Farming Anwendung

In Abbildung 5 ist dargestellt, was sich aus Sicht der aktuell Nicht-PF-Nutzer verbessern müsste, um die Technologie anzuwenden. Den größten Verbesserungsbedarf sehen die befragten Landwirte in den Anschaffungskosten und der Kompatibilität mit anderen Geräten und Maschinen. Zudem sind die als zu gering wahrgenommenen Einsparungen von Betriebsmitteln sowie geringe Effekte auf die Deckungsbeiträge Barrieren für die PF-Anwendung. Auch bei den PF einsetzenden Betrieben sorgen die Anschaffungskosten für deutliche Unzufriedenheit, aber dafür sind die PF nutzenden Betriebe mit den positiven Effekten auf den Betriebsmittelverbrauch pro Hektar sehr zufrieden (Mittelwert = 2,14) (vgl. Abb. 6). Nicht zu vernachlässigen sind darüber hinaus die kritisierte Benutzerfreundlichkeit der Anwendung sowie der Planungsaufwand. Hier sehen die befragten Betriebe noch deutliches Potenzial. In der Befragung geben die Teilnehmer großes Verbesserungspotenzial in Bezug auf Datenschutz und Datenhoheit an (Mittelwert = 2,05). Konkurrenzeffekte werden bei der Entscheidung zur Adaption von Precision Farming hingegen hintenangestellt. So lassen sich die Betriebsleiter kaum davon beeinflussen, ob der Nachbarbetrieb Precision Farming einsetzt oder nicht.

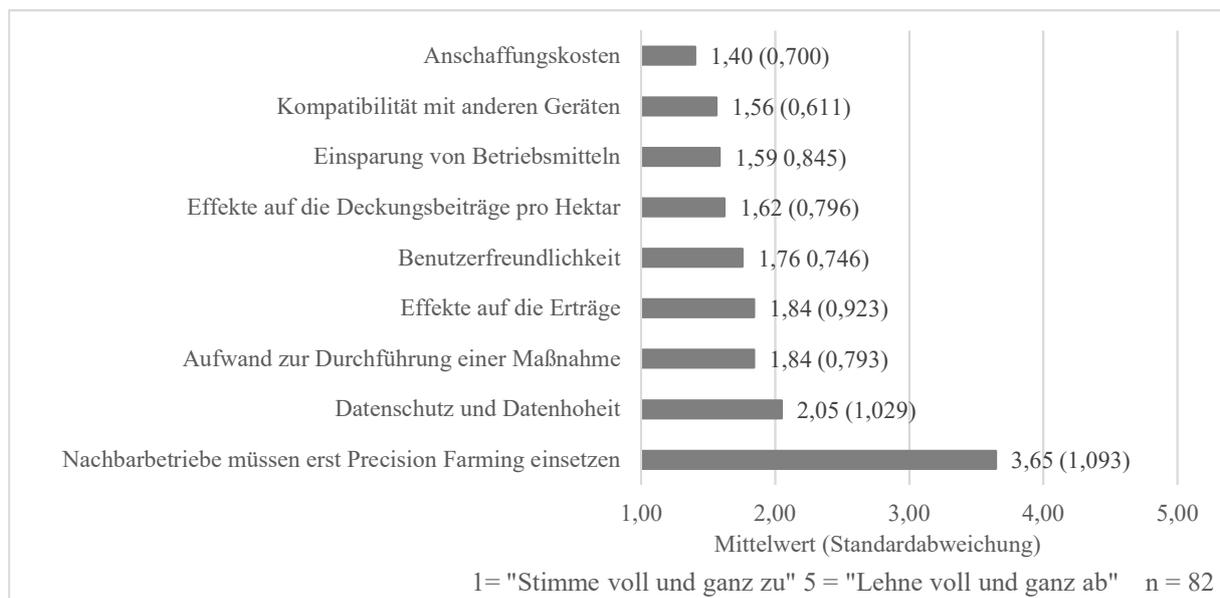


Abbildung 5: Verbesserungspotenzial für die PF-Adaption (Quelle: Eigene Erhebung)

Die PF-Nutzer wurden gefragt, wie zufrieden sie mit den eingesetzten Technologien sind und hinsichtlich welcher Attribute sie Verbesserungsmöglichkeiten sehen (vgl. Abb. 6). Die Nutzer sind insbesondere zufrieden mit der Entlastung der Mitarbeiter (Mittelwert = 2,02) und den für sie positiv ausfallenden Effekten hinsichtlich der Betriebsmittelverbräuche (Mittelwert = 2,14). Die größte Unzufriedenheit (Mittelwert = 3,73) gibt es bei den PF-Nutzern bezüglich der Anschaffungskosten für die Technologie, gefolgt von der Kompatibilität mit anderen Geräten oder Maschinen (Mittelwert =

3,11). Demnach deckt sich die Einschätzung der Adaptionen-Barrieren seitens der PF-Nicht-Nutzer mit der Zufriedenheitsbewertung der Precision Farming einsetzenden Betriebe.

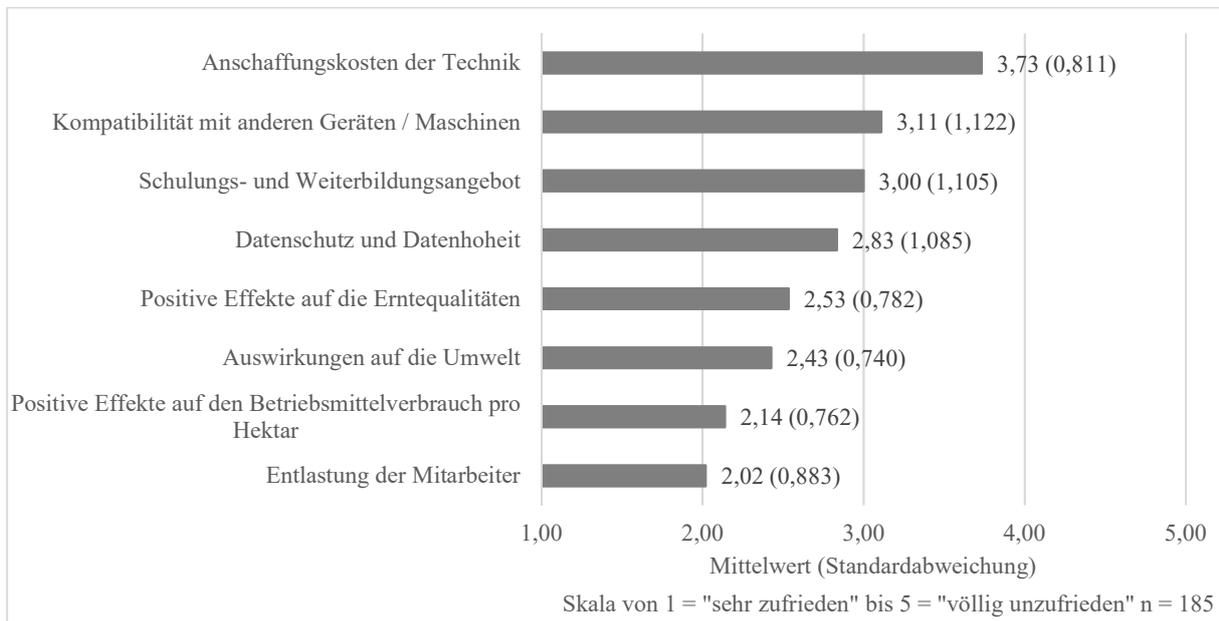


Abbildung 6: Zufriedenheit mit der Technologie bei PF-Nutzern (Quelle: Eigene Erhebung)

4.4 Motive zur Nutzung von Precision Farming

Zur Ermittlung der Gründe, warum Precision Farming bereits auf den Betrieben eingesetzt wird, wurden mehrere Motive abgefragt, die zuvor aus der Literatur abgeleitet wurden. Tabelle 4 zeigt, dass insbesondere Interesse an fortschrittlichen Themen (Mittelwert = 1,63) und Arbeitserleichterung die Hauptmotive sind, PF aus Sicht der Landwirte zu nutzen. Zudem stimmten knapp 72 % der Probanden zu, dass PF dabei hilft Einflüsse auf die Umwelt zu reduzieren. Ein vergleichsweise schwaches Motiv, ist der Einsatz von PF auf dem Nachbarbetrieb (Mittelwert = 4,19), was sich mit den vorherigen Ergebnissen deckt.

Das Ergebnis zeigt, dass sich die Landwirte von subjektiven Faktoren, wie z.B. das Interesse an digitalen Technologien bei ihrer Entscheidung zur Nutzung von Precision Farming beeinflussen lassen. Zwar spielen auch wirtschaftliche Faktoren bei der Entscheidung eine wichtige Rolle, allerdings überwiegt der praktische Nutzen sowie das persönliche Interesse.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Befragung und ihr Einfluss auf die Adaption von Precision Farming diskutiert und für einzelne Akteure Handlungsoptionen abgeleitet werden, um die Anwendung von Precision Farming in der landwirtschaftlichen Praxis zu fördern.

Tabelle 3:
Bewertung der Motive, um Precision Farming zu nutzen

	Mittelwert (Standardabweichung)	Stimme zu* (%)	Lehne ab** (%)
Interesse an fortschrittlichen / digitalen Technologien	1,63 (0,704)	90,3	1,6
Arbeitserleichterung	1,88 (1,057)	74,1	9,7
Einflüsse auf die Umwelt reduzieren	2,05 (0,845)	71,9	4,3
Steigerung der Ernteerträge	2,05 (0,922)	68,1	4,9
Steigerung der Deckungsbreiträge pro Hektar	2,06 (0,864)	68,6	3,8
Steigerung der Produktqualitäten	2,15 (0,900)	67,0	7,0
Stickstoffbilanzüberschüsse reduzieren	2,26 (1,011)	63,2	11,4
Motivationssteigerung der Mitarbeiter	2,42 (1,019)	53,5	15,1
Arbeitszeiten reduzieren	2,42 (1,149)	55,7	18,9
Gesellschaftliche Akzeptanz steigern	2,49 (1,109)	51,9	20,0
Risiko der Nitratauswaschung senken	2,51 (0,990)	51,4	13,5
Weil die Nachbarbetriebe auch Precision Farming einsetzen	4,19 (0,894)	4,3	83,2

Quelle: Eigene Erhebung; n=185; Skala von 1=„Stimme voll und ganz zu“ bis 5=„Lehne voll und ganz ab“;
 *Zusammenfassung von „Stimme zu“ und Stimme voll und ganz zu“; **Zusammenfassung von „Lehne ab“ und
 „Lehne voll und ganz ab“

5. Diskussion und Limitation

Anhand einer deutschlandweiten Online-Umfrage unter Landwirten wurde untersucht, wie verbreitet die Nutzung von Precision Farming Technologien ist und wie sich PF-Nutzer und Nicht-Nutzer hinsichtlich Farmographics und soziodemographischer Daten unterscheiden. Zudem wurden Motive und Barrieren analysiert, die zu einer Nutzung bzw. einer Nichtnutzung führen können.

5.1 Alter und Nutzung von Precision Farming

DABERKOW & MCBRIDE (2003), REICHARDT ET AL. (2009); RÖSCH ET AL. (2005); TAMIRAT ET AL., (2018); und VECCHIO ET AL., (2020) zeigen in ihren Studien, dass es einen Einfluss zwischen dem Alter der Landwirte und dem Einsatz von Precision Farming auf deren Betrieben gibt. Dieser Trend konnte ebenfalls in der vorliegenden Studie beobachtet werden. Der signifikante Unterschied zwischen den Altersgruppen derjenigen, die PF nutzen oder nicht nutzen, kann darauf zurückzuführen sein, dass sich insbesondere jüngere Leute von neuen innovativen Technologien stärker angezogen fühlen. Die Studie zeigt, dass insbesondere in den Gruppen unter 35 Jahren die Anzahl der PF-Nutzer am höchsten ist. Möglicherweise liegt das Interesse an und der Einsatz von PF Technologien auch darin begründet, sich von bisherigen Vorgehensweisen der Elterngeneration abzugrenzen und eigene Wege gehen zu können bzw. zu wollen. Gerade diese junge Gruppe besteht oftmals aus Hofnachfolgern, die sich neue und alternative Konzepte für die zukünftige Ausrichtung des Betriebes suchen. Dies kann ein nützlicher Hinweis für Hersteller von Precision Farming Technologien sein, dieses Kundensegment gezielt anzusprechen. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse aber auch, dass 50% der PF-Nicht-Nutzer 25 Jahre alt oder jünger sind. Dass sehr junge Landwirte PF weniger häufig nutzen, könnte damit begründet werden, dass in dieser Altersklasse meist noch keine Hofübernahme erfolgt ist und damit eine Eigenverantwortung für größere Investitionen noch nicht übertragen worden ist.

5.2 Ausbildungsstand und Nutzung von Precision Farming

Das Bildungsniveau wird in mehreren Studien als Einflussfaktor auf die Adaption von Precision Farming gesehen (DABERKOW & MCBRIDE, 2003; REICHARDT ET AL., 2009; PIERPAOLI ET AL., 2013; VECCHIO ET AL., 2020). Dabei zeigt sich, dass besser ausgebildete Betriebsleiter offener gegenüber neuen Technologien sind und diese auch schneller auf ihren Betrieben adaptieren bzw. eher dazu bereit sind neue Dinge auszuprobieren (DABERKOW & MCBRIDE, 2003). Auch in dieser Studie lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Ausbildungsniveau der Landwirte und der Anwendung von PF feststellen. So haben die meisten Landwirte, die PF nutzen einen Bachelor-Abschluss, wohingegen die meisten Nicht-Nutzer einen Fachschulabschluss haben oder eine landwirtschaftliche Berufsausbildung aufweisen. BUSSE ET AL. (2014) zeigen, dass die Innovationsbereitschaft der Landwirte in den letzten Jahren zugenommen hat, da die Kosten für landwirtschaftliche Betriebsmittel und Technik ansteigen. Deshalb werden Technologien für den effizienten Betriebsmitteleinsatz immer stärker nachgefragt (BUSSE ET AL., 2014). Für den innerbetrieblichen Einsatz von Precision Farming sind gut ausgebildete Arbeitskräfte mit einem hohen Grundverständnis für die eingesetzten Technologien notwendig. Dabei zeigt sich, dass mehr spezielle Fachkenntnisse für die Erstellung einer Applikationskarte im Offline-Ansatz notwendig sind, als für den Online-Ansatz, bei dem die Erfassung der benötigten Daten zur Steuerung

des Düngerstreuers bei der Überfahrt nach der Kalibrierung vollautomatisch funktioniert (GANDORFER, 2006). Dies erfordert vom Anwender nicht nur das sichere Bedienen der Maschinen, sondern vielmehr ein Hineindenken in Prozesse und das Finden von Lösungsansätzen (Schleicher & Gandorfer, 2018). Demgegenüber sind Themen zu Precision Farming in den Lehrinhalten an landwirtschaftlichen Fach- und Berufsschulen nur in kleinem Umfang aufgeführt. Dabei kann die Integration solcher Themen in die Lehrpläne der landwirtschaftlichen Ausbildung eine wichtige Grundlage darstellen, um die Vorteile und den Nutzen von Precision Farming zu erkennen und dann auch die Technologien auf dem eigenen Betrieb erfolgreich zu implementieren und anzuwenden. Dahingehend müssen die Unterrichtskonzepte und die Weiterbildung der Lehrer im Bereich der fortschrittlichen digitalen Technologien verstärkt gefördert werden, um eine positive Wahrnehmung schon während der Ausbildung zu steigern (REICHARDT & JÜRGENS, 2008; RÖSCH ET AL., 2005). Seitens der Landwirte zeigen erste Studien, dass eine Teilnahme- und Zahlungsbereitschaft für Schulungen zur Digitalisierung grundsätzlich gegeben ist und mit der Erwartung, den praktischen Einsatz digitaler Technologien zu erleichtern, verknüpft wird (Michels et al., 2019).

5.3 Betriebsgröße und Nutzung von Precision Farming

Einen Zusammenhang zwischen Adaption und Betriebsgröße zeigen bereits PAUSTIAN & THEUVSEN (2016), REICHARDT & JÜRGENS (2008), DABERKOW & MCBRIDE (2003) sowie LAMBERT & LOWENBERG-DEBOER (2000). Eine repräsentative Befragung von REICHARDT & JÜRGENS (2008) ergab, dass der durchschnittliche PF einsetzende Betrieb 250 bis 380 Hektar in den Jahren 2005 bis 2007 bewirtschaftete. Aber auch bei den noch größeren Betrieben ist der Anteil der PF einsetzenden Betriebe signifikant höher (REICHARDT & JÜRGENS, 2008). Diese Studie bestätigt die Ergebnisse, da ein signifikanter Unterschied zwischen den PF-Nutzern und PF-Nicht-Nutzern in Hinblick auf die Betriebsgröße nachgewiesen werden konnte. Vor allem die Betriebe in den Gruppen 101 bis 200 Hektar und 201 bis 500 Hektar setzen bei dieser Befragung stark auf den Einsatz von Precision Farming. Im Hinblick auf die zunehmende Komplexität der Technologien, zeigen Michels et al. (2019), dass mit zunehmender Betriebsgröße auch die Bereitschaft für eine Schulung zur Digitalisierung steigt, wodurch sich einige der in dieser Studie identifizierten Nutzungsbarrieren abbauen ließen.

5.4 Zufriedenheiten und Verbesserungspotentiale von Precision Farming

Die Auswertung der Zufriedenheit bestimmter Aspekte von Precision Farming im Rahmen der Umfrage zeigt, dass vor allem die hohen Anschaffungskosten der Technik für Unzufriedenheit bei den Anwendern sorgen (vgl. Abb. 6). Auf die Frage „Was muss sich verbessern, damit Sie Precision Farming einsetzen?“ wird das Statement „die Anschaffungskosten müssen sinken“ bei den nicht Precision

Farming einsetzenden Betrieben am wichtigsten bewertet (vgl. Abb. 5). Somit scheinen die Kosten der Technik aktuell das größte Hindernis für die Adaption von PF zu sein, wie es auch die Ergebnisse von BLASCH ET AL. (2020) zeigen. Dieses Ergebnis spiegelt sich in der Umfrage bei der Verbreitung von Precision Farming wider, nach der vor allem die großen Betriebe Precision Farming einsetzen. Hier amortisieren sich die Anschaffungskosten durch eine gesteigerte Auslastung schneller. Da die durchschnittliche Betriebsgröße in der deutschen Landwirtschaft jedoch bei 62,5 Hektar liegt (PASCHER ET AL., 2020), ist eine breite Nutzung der Technik durch die kleinen Betriebe mit Bezug auf die Anschaffungskosten in naher Zukunft nicht zu erwarten. Teilweise sind schon Kostendegressionen durch den technischen Fortschritt eingetreten, aber dennoch scheinen die Kosten für den Einsatz der Technologie für viele Betriebe nicht dem erwarteten Nutzen gegenüberzustehen (GABRIEL ET AL., 2021; RÖSCH ET AL., 2005). Um einen Anreiz für die Betriebe zu schaffen, in moderne Technologien zu investieren, werden aktuell Investitionsförderprogramme angeboten, mit denen bis zu 40 % der Anschaffungskosten vom Bund übernommen werden und damit zur Verbesserung des Umwelt-, Klima- oder Verbraucherschutzes beitragen sollen (MEYER, 2020). Landwirte von Großbetrieben scheinen eine zentrale Rolle für die regionale Verbreitung moderner Technologien in sozialen Netzwerken zu spielen. Der Informationsaustausch zwischen Landwirten, die gleichermaßen neue Technologien eingeführt haben, ist dabei besonders stark und stellt sich als weiterer Treiber für deren Implementierung heraus. Demzufolge können fortschrittliche Landwirte in sozialen Netzwerken als Multiplikatoren für die Verbreitung von Precision Farming in der Landwirtschaft gesehen werden (ALBIZUA ET AL., 2020). Die Ergebnisse von BLASCH ET AL. (2020) zeigen, dass 88,5 % der Landwirte, die zum ersten Mal Precision Farming nutzen auch mindestens einen anderen Anwender kennen, während dieser Anteil bei den Betrieben ohne Nutzung von Precision Farming nur bei 36,9 % liegt. Somit kann die Förderung der Vernetzung und des Wissensaustauschs zwischen den Landwirten sowie die finanzielle Unterstützung bei den anfänglich hohen Investitionskosten ein Schlüssel für eine breite Anwendung von Precision Farming sein. Die Landwirte nutzen für das Erlangen von Fachinformationen vor allem den Austausch mit benachbarten Landwirten und unabhängigen Beratern, sodass diese Kanäle auch bei den skeptischen Landwirten für den Informationsaustausch besonders wichtig sind (BLASCH ET AL., 2020). Um Precision Farming in kleinen Betriebsstrukturen rentabel einzusetzen, wird die Möglichkeit diskutiert, die Technologien überbetrieblich einzusetzen (VINZENT ET AL., 2019; GANDORFER, 2006). Dabei kann die teilflächenspezifische, sensorgestützte Stickstoffdüngung im kombinierten Ansatz auch in kleinstrukturierten Gebieten eine Möglichkeit zum erfolgreichen Einsatz von Precision Farming bieten. Die genaue Planung der Arbeitsabläufe sowie die technische Schulung der Anwender sind dabei eine wichtige Voraussetzung, um negative Umwelteffekte zu vermeiden und einen effizienten Einsatz der Technik zu gewährleisten. Zudem müssen sich mehrere Betriebe finden, die offen für die Technologie sind und den anfänglichen Mehraufwand zur erfolgreichen Implementierung in den Betriebsablauf auf

sich nehmen (VINZENT ET AL., 2019). Zu berücksichtigen ist, dass in einem solchen Modell die Entscheidungsfreiheit und Flexibilität des einzelnen Landwirts beim Einsatz der Technik und der Planung von Arbeitsabläufen eingeschränkt sind. Bei engen Zeitfenstern zur optimalen Applikation von Pflanzenschutz- oder Düngemitteln können sich Abstimmungsprobleme in der Gruppe negativ auf den wirtschaftlichen Erfolg des einzelnen Betriebs auswirken (GANDORFER, 2006).

5.5 Wirtschaftlichkeit und Nutzung von Precision Farming

Durch die stark unterschiedliche Bewertung des Betriebsmittelverbrauchs zwischen den beiden Gruppen, scheinen die Potenziale und Vorteile von Precision Farming noch nicht klar zu sein (vgl. Abb. 5 und 6). Wenn die Vorteile, die PF mit sich bringen kann, verständlicher kommuniziert und durch Testergebnisse belegt werden, kann dies die Anwendung von PF der Landwirte steigern. Wie schon in der Literaturrecherche herausgestellt, müssen für eine monetäre Bewertung von Precision Farming exakte Berechnungen durchgeführt werden. Dabei zeigen Kalkulationen von KARPINSKI (2014), GANDORFER (2006), RÖSCH ET AL., (2005) und DABERKOW & McBRIDE (2003) kein einheitliches Bild zu den wirtschaftlichen Vorteilen von Precision Farming auf. Hierbei spielen vor allem die vielen unterschiedlichen äußeren Bedingungen und Faktoren eine Rolle, die einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit nehmen und somit kaum eine pauschale Aussage zulassen. Dennoch sind Anstrengungen seitens der Industrie notwendig, um die Anschaffungskosten weiter zu senken. Für beide Gruppen scheint dies die Variable mit dem größten Verbesserungspotenzial zu sein. Dabei muss es aber nicht gleich die Anschaffung eines Sensorsystems mit vollautomatischer Steuerung des Düngerstreuers sein, um die Effekte der Betriebsmitteleinsparung und der Homogenisierung der Bestände mittels Precision Farming hervorrufen zu können. Vor allem kleinere Betriebe mit geringer Investitionskraft können diese Effekte auch schon mit der Nutzung einer einfachen Applikations- oder Ertragspotenzialkarte auf Basis eines Satellitenbildes und der händischen Anpassung der Fahrgeschwindigkeit, Aussaat- oder Düngermenge kostengünstig erzielen (VUOLO ET AL., 2019).

5.6 Datenschutz und -sicherheit als Einflussfaktor auf die Nutzung von Precision Farming

Auch bei Datenschutz und Datenhoheit sehen die Betriebe in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von SCHLEICHER & GANDORFER (2018) einen Verbesserungsbedarf (vgl. Abb. 5). Durch das gesteigerte Aufkommen von Plattformen und Produkten werden oftmals nur Insellösungen und weniger gesamtheitliche Konzepte auf den Markt gebracht, wodurch sich die Zahl der Schnittstellen erhöht. Dabei kommt es beim Datenaustausch verstärkt zu Kompatibilitätsproblemen (SCHLEICHER & GANDORFER, 2018). Für die einfache Kommunikation zwischen Maschinen und Geräten wurde der

Standard ISO 11783 mit dem Namen ISOBUS geschaffen. Dieser soll die herstellerunabhängige Kommunikation zwischen Geräten erleichtern und ist mittlerweile bei den Landtechnikherstellern weit verbreitet. Die Vernetzung von Systemen ist damit im laufenden Betrieb bereits möglich (REUTER ET AL., 2018). Der ISOBUS-Standard bietet die Möglichkeit, weltweit Maschinen auf einfache Weise miteinander zu verbinden und den Datenaustausch zu ermöglichen. Trotzdem stellen diese offenen Systeme ein großes Risiko für externe Angriffe dar. Das auf ISOBUS basierende System Control-Area-Network (CAN-Bus) ist oftmals die Quelle für Fehler und Ausfälle bei der Maschinenkommunikation (RUGGERI, 2015). In Bezug auf die Zuverlässigkeit und die Verknüpfung von einzelnen Komponenten sehen auch die befragten, Precision Farming einsetzenden Landwirte im Allgemeinen sowie bei der teilflächenspezifischen Düngung im Speziellen noch großen Verbesserungsbedarf (vgl. Abb. 5 und 6). MARTÍNEZ (2016) kritisiert darüber hinaus den mangelhaften Schutz von betriebsbezogenen Daten. Er fordert für eine flexible Entwicklung der Digitalisierung in der Landwirtschaft den rechtlichen Rahmen nicht zu eng zu setzen. Weiterhin sind vertrauensbildende Maßnahmen seitens der Dienstleistungsunternehmen gegenüber den Landwirten für eine nachhaltige Anwendung der Technologien notwendig (MARTÍNEZ, 2016). Die Schaffung eines rechtlichen Rahmens zur Regelung des Datenbesitzes und der Nutzung der Daten gilt als wichtige Voraussetzung, um die Anwendung in Bezug auf den Datenschutz zu steigern (FINGER ET AL., 2019).

Trotz teilweise guter Computerkenntnisse der Landwirte, wird Precision Farming nur langsam in die Betriebsabläufe integriert. Als Hauptgrund zeigen REICHARDT ET AL. (2009) aus ihren Experteninterviews den hohen Zeitaufwand für die Implementierung der Technologie auf den Betrieben auf. Größere Betriebe haben dabei oftmals den Vorteil, dass sie einzelne, in diesen Bereichen besonders geschulte Mitarbeiter haben, sodass die Implementierung leichter stattfinden kann (REICHARDT ET AL., 2009). In den Untersuchungen von SCHLEICHER & GANDORFER (2018) haben die Akzeptanzhemmnisse aufgrund der komplizierten Bedienung und des fehlenden IT-Know-hows im Vergleich der Zeiträume 2009 bis 2012 und 2013 bis 2016 bereits an Bedeutung verloren (SCHLEICHER & GANDORFER, 2018). Vermehrt tauchen neue Plattformen auf, die Austausch und Speicherung sowie Auswertung von sensiblen Betriebsdaten ermöglichen. Damit die Landwirte ihre Skepsis in Bezug auf das Thema Datenschutz verlieren, ist es wichtig, offene Kommunikation zu betreiben und das Wissen der Landwirte bezüglich Precision Farming weiter zu fördern (GANDORFER & MEYER-AURICH, 2017). Ein weiteres Hindernis zur Anwendung der PF ist die Verwaltung großer Datenmengen sowie die richtige Interpretation der gewonnenen Daten. Hier sind Tools notwendig, um den Landwirt bei Managemententscheidungen zu unterstützen und die Daten in entsprechende Bewirtschaftungsmaßnahmen umsetzen zu können (REICHARDT & JÜRGENS, 2008). Zudem stehen Beratungsverbände und Landwirtschaftsämter in der Pflicht, in diesen Bereichen ihre Kompetenzen zu erhöhen und den Landwirten im Umgang mit Precision Farming zur Seite zu stehen und so die Verbreitung in der Branche weiter zu steigern. Eine Schulungsbereitschaft

zum Thema Digitalisierung seitens der Landwirte liegt bereits vor (Michels et al., 2019) und sollte zukünftig von allen Akuteren stärker bedient werden.

6. Limitation

Insgesamt zeigt sich, dass die für die Befragung genommene Stichprobe in Hinblick auf soziodemografische und betriebliche Daten nur teilweise mit denen des Situationsberichtes vom deutschen Bauernverband übereinstimmen, sprich nur eingeschränkt auf die Grundgesamtheit übertragbar sind (PASCHER ET AL., 2020). Darum ist es wichtig, weitere Forschungen mit einer größeren Anzahl an Umfrageteilnehmern zu Anwendungshemmnissen von Precision Farming durchzuführen. Der hohe Anteil junger Umfrageteilnehmer hängt vermutlich damit zusammen, dass die Umfrage verstärkt über die Kanäle von Hochschulen und folglich auch primär an Studierende weitergeleitet wurde. Dabei kann sich das Alter als weiterer Einflussfaktor herausstellen, wie es auch schon vorangegangene Forschungen zeigen (RÖSCH ET AL., 2005; ROBERTS ET AL., 2004). Darüber hinaus sollte der Einfluss einzelner Faktoren bei weiteren Forschungen zur Wirtschaftlichkeit von Precision Farming differenzierter betrachtet werden. So stellen die aktuell hohen Mineraldüngerpreise und die Einschränkungen der Düngung durch die Düngeverordnung eine gesteigerte Notwendigkeit dar, die Betriebsmittel effizient auf den Flächen auszubringen. Aber auch eine Kalkulation unter Einbezug des aktuell laufenden Agrarinvestitionsförderprogramms kann durch die Förderung von 40 % der Anschaffungskosten einen Anreiz für die Landwirte bieten, in moderne Technologien zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zu investieren. Die Umfrage hat in Bezug auf wirtschaftliche Variablen eine gesteigerte Zufriedenheit bei Anwendung von Precision Farming feststellen können, die aber lediglich an subjektiven Werten festgemacht wurde. Zudem sollte in weiteren Forschungen ein Vergleich zu anderen Ländern mit ähnlichen landwirtschaftlichen Strukturen stattfinden. Dieser könnte ergeben, wie fortschrittlich die deutsche Landwirtschaft in Bezug auf die Nutzung von Precision Farming ist und welche Maßnahmen möglicherweise in anderen Ländern helfen, die Adaption voranzutreiben. Die Ergebnisse der Umfrage können auch auf verschiedene Entwicklungen im Bereich Precision Farming aufmerksam machen und notwendige Handlungsempfehlungen für eine breite Anwendung der Technologie aufzeigen.

7. Fazit

Ziel dieser empirischen Studie war es, auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse aus der Online-Umfrage Schlüsse daraus zu ziehen, welche Faktoren und Motive in Zusammenhang mit einer Nutzung von Precision Farming in der deutschen Landwirtschaft stehen. Die Ergebnisse zeigen Probleme auf,

die in Bezug auf eine stärkere Verbreitung von Precision Farming von den verschiedenen Akteuren der Agrarbranche gelöst werden müssen.

Die Betriebe sind beim Einsatz von Precision Farming besonders mit der Entlastung der Mitarbeiter, den Senkungen des Betriebsmittelverbrauchs und den positiven Auswirkungen auf die Umwelt zufrieden. Demgegenüber werden die Anschaffungskosten der Technik, die Kompatibilität mit anderen Geräten / Maschinen sowie das Schulungs- und Weiterbildungsangebot von den Betrieben negativ bewertet. Auch die Betriebe, die Precision Farming bisher nicht einsetzen, sehen gleichermaßen bei diesen Variablen den größten Verbesserungsbedarf. Dabei zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Betriebsgröße und der Nutzung von Precision Farming. Landwirtschaftlichen Großbetrieben steht mehr Kapital zur Investition bei einer gleichzeitig höheren Flächenauslastung und damit schnelleren Amortisation der Technologien zur Verfügung. Mögliche Ansätze zur verstärkten Adaption auf kleineren Betrieben stellen der überbetriebliche Einsatz und der Aufbau von Investitionsförderprogrammen vom Bund und der Europäischen Union für Precision Farming dar. Weiterhin werden Skaleneffekte und weitere Anstrengungen der Hersteller notwendig sein, damit die Anschaffungskosten weiter sinken, denn dies stellt die größte Barriere für die Nutzung von Precision Farming dar.

Zwischen dem Ausbildungsstand der Landwirte und dem Einsatz von PF konnte ein signifikanter Einfluss ermittelt werden. Dabei haben die Precision Farming einsetzenden Landwirte überwiegend einen höheren Berufsabschluss erlangt. Es ist deshalb notwendig, in den Lehrplänen der Berufs- und Fachschulen Inhalte zu digitalen fortschrittlichen Technologien zu integrieren und so Information zu verbreiten, was später eine Anwendung von PF wahrscheinlicher macht. Zugleich wird es immer wichtiger, bei komplexer werdendem Funktionsumfang der Technologien vermehrt Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen anzubieten, damit die Landwirte die potenziell möglichen Effizienzsteigerungen durch Precision Farming vollständig ausnutzen können. Die Verwaltung großer Datenmengen sowie die richtige Interpretation der gewonnenen Daten stellt dabei aktuell ein weiteres Problemfeld dar. Hierfür sind Tools notwendig, die den Landwirt bei Managemententscheidungen unterstützen, um die gewonnenen Daten in entsprechende Bewirtschaftungsmaßnahmen umsetzen zu können. Auch Beratungsringe und Landwirtschaftskammern sollten dahingehend ihre Kompetenzen erweitern und den Landwirten beim Einsatz unterstützend zur Seite stehen.

Weniger der Datenschutz, sondern vielmehr die Kompatibilität von verschiedenen Geräten stellt sich als Problem bei den Umfrageergebnissen heraus. Eine wichtige Voraussetzung für die Steigerung der Verbreitung von PF ist eine problemlose Maschinenkommunikation sowie die herstellerunabhängige Datenübertragung und -verwaltung. Die Probleme an den Schnittstellen müssen von den Maschinenherstellern weitergehend überarbeitet werden. Ganzheitliche Ansätze stellen dabei einen

möglichen Lösungsweg dar und können helfen, die Fehlerquellen der vielfach existierenden Insellösungen zu vermeiden.

Hinsichtlich der Motive zum Einsatz von Precision Farming wiegt für die Landwirte das Interesse an fortschrittlichen Technologien und die Arbeitserleichterung bei der Entscheidung Precision Farming einzusetzen, am stärksten. Das zeigt, dass in erste Linie subjektive Motive gegenüber ökologischen oder ökonomischen Motiven bei der Adaption im Vordergrund stehen. Die Landwirte werden bei der Adaption durch ihr Interesse an modernen Technologien, aber auch durch den Austausch mit innovativen Landwirten in sozialen Netzwerken zur Nutzung angetrieben.

Für die Zukunft sehen die Umfrageteilnehmer Precision Farming und die teilflächenspezifische Düngung als Kernelement der deutschen Landwirtschaft. Allerdings werden die aktuell nicht PF nutzenden Betriebe die Technologien auch in Zukunft nicht ohne unterstützende Maßnahmen auf dem eigenen Betrieb einsetzen. Zur Kernfrage, ob Precision Farming eine Nullnummer oder ein Nutzbringer ist, lässt sich in Bezug auf die Ökonomie nach der Literaturrecherche keine klare Vorteilhaftigkeit herausstellen (KARPINSKI, 2014; WAGNER, 2010; GANDORFER, 2006; RÖSCH ET AL., 2005). Die ökonomische Vorteilhaftigkeit der teilflächenspezifischen Düngung wird durch die witterungsbedingten und standörtlichen Gegebenheiten stark beeinflusst und lässt keine pauschale Aussage zu. Die Umfrageergebnisse zeigen eine gesteigerte Zufriedenheit hinsichtlich wirtschaftlicher Variablen sowie ökologischer Effekte bei Nutzern von Precision Farming. Die Literaturanalyse bestätigt die positiven Effekte, die durch Precision Farming beim Umweltschutz und hierbei insbesondere bei der Reduktion von Nährstoff-Bilanzüberschüssen u. a- auch durch das verringerte Risiko zur Nitratauswaschung hervorgerufen werden. Precision Farming hat insgesamt das Potenzial, die gesellschaftlichen Forderungen nach mehr Arten-, Klima- und Umweltschutz mit dem Ziel eines effizienteren Betriebsmitteleinsatzes bei gleichbleibenden oder gar gesteigerten Qualitäten und Erträgen in der landwirtschaftlichen Produktion zu vereinen.

Zusammenfassung

Precision Farming – Nullnummer oder Nutzbringer?

Eine empirische Studie unter Landwirten

Mit Precision Farming hält aktuell eine vielversprechende Innovation Einzug in die Landwirtschaft. Trotz der Vorteile, die die Technologie mit sich bringen soll, hält die Anwendung nur langsam Einzug in die landwirtschaftliche Praxis. In dieser Studie wurden die Motive für die Adaption von Precision Farming in der deutschen Landwirtschaft untersucht. Die Ergebnisse der Online-Umfrage zeigen, dass es in den Gruppen der Nutzer und Nicht-Nutzer Unterschiede hinsichtlich Berufsbildungsabschluss, Betriebsgröße, Wirtschaftlichkeit sowie des Datenschutzes gibt. Zudem ergibt die Studie eine subjektiv

gesteigerte Zufriedenheit hinsichtlich ökonomischer und ökologischer Vorteile bei den Landwirten, die durch die Nutzung der Technologie hervorgerufen wurden. Insgesamt sind von verschiedenen Akteuren der landwirtschaftlichen Branche weitere Anstrengungen zur Verbesserung der Technologie notwendig. Dies würde auch die breite Adaption von Precision Farming in Deutschland fördern und so zu einer nachhaltigen Zielerreichung in den Bereichen Umwelt-, Boden- und Artenschutz beitragen.

Schlüsselwörter: Smart Farming, Nutzung Landwirte, Motive, Digitalisierung

Summary

Precision Farming - Flop or Beneficial?

An empirical study among farmers

Precision farming is a promising innovation that is currently making its way into agriculture. Despite the advantages that the technology is supposed to bring, its application in agricultural practice is slow. This study investigated the motives for the adaptation of precision farming in German agriculture. The results of the online survey show that there are differences in the groups of users and non-users with regard to educational qualification, farm size, economic efficiency as well as data protection. In addition, the study reveals a subjective increase in satisfaction with regard to economic benefits among farmers, following the use of the technology. Regarding positive ecological effects of precision farming, survey participants' increased satisfaction was in line with the results found in the respective literature. Overall, further efforts for technology improvement are needed from various stakeholders in the agricultural industry. This could support a wider adaptation of precision farming in German agriculture and thus contribute to a sustainable achievement of goals in the areas of environmental, soil and species protection.

Keywords: Smart farming, farmers usage, motives, digitization

Literaturverzeichnis

1. ALBIZUA, A., E. BENNETT, U. PASCUAL, G. LAROCQUE, 2020. The role of the social network structure on the spread of intensive agriculture: an example from Navarre, Spain. In: *Regional Environmental Change*. **20** (99). Verfügbar unter: doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01676-9>
2. BLACKMORE, S., 2002. Developing the principles of precision farming. The Centre of Precision Farming, Dinamarca.
3. BLASCH, J., B. VAN DER KROON, R. VAN BEUKERING, R. MUNSTER, S. FABIANI, P. NINO, S. VANINO, 2020. Farmer preferences for adopting precision farming technologies: a case study from Italy. In: *European Review of Agricultural Economics*. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.1093/erae/jbaa031>
4. BONGIOVANNI, R., J. LOWENBERG-DEBOER, 2004. Precision Agriculture and Sustainability. In: *Precision Agriculture*. **5**, 359-387. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
5. BUSSE, M. und andere, 2014. Innovation mechanisms in german precision farming. In: *Precision Agriculture*. **15**(4), 403-426. Verfügbar unter: doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-013-9337-2>
6. DABERKOW, S., W. MCBRIDE, G. STAN, 2003. Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. In: *Precision Agriculture*. **4**(2), 163-177.
7. DETER, A., 2019. *Landwirte und Gesellschaft: Ideen für ein besseres Miteinander* [online]. TopAgrar online. [Zugriff am: 03.11.2020]. Verfügbar unter: <https://www.topagrar.com/management-und-politik/news/landwirte-und-gesellschaft-ideen-fuer-ein-besseres-miteinander-11888581.html>
8. DLG E.V., 2018. *Digitale Landwirtschaft - Ein Positionspapier* [online]. Frankfurt am Main: DLG e.V. [Zugriff am 03.11.2020]. Verfügbar unter: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/ausschuesse_facharbeit/DLG_Position_Digitalisierung.pdf
9. EBERTSEDER, T., R. GUTSER, U. HEGE, R. BRANDHUBER, U. SCHMIDHALTER, 2003. Strategies for site-specific nitrogen fertilization with respect to long-term environmental demands. In: J. STAFFORD, A. WERNER, Hrsg. *Precision Agriculture*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, S. 193-198.
10. EHLERT, D., 2010. Techniken für eine sensorgestützte mineralische Düngung. In: B. L. (LFL), Hrsg. *Technik im Ackerbau - schlagkräftig und effizient*. Deggendorf, 13-22.
11. FINGER, R., S. SWINTON, N. EL BENNI, A. WALTER, 2019. Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment. In: *Annual Review of Resource Economics*. **11**, 313-335. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>
12. GABRIEL, A., M. GANDORFER, O. SPYKMAN, 2021. Nutzung und Hemmnisse digitaler Technologien in der Landwirtschaft. In: *Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*. **99**(1), 1-27. Verfügbar unter: doi: 10.12767/buel.v99i1.328
13. GANDORFER, M., 2006. *Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung* [Dissertation]. München: Technische Universität
14. GANDORFER, M., A. MEYER-AURICH, 2017. Economic Potential of Site-Specific Fertiliser Application and Harvest Management. In: S. PEDERSEN, K. LIND, Hrsg. *Precision Agriculture - Technology and Economic Perspectives*. Cham, Schweiz: Springer International Publishing AG 2017, 79-92. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5>
15. HEMMERLING, U., P. PASCHER, S. NASS, A. KÖNIG, C. GAEBEL, 2015. *Trends und Fakten zur Landwirtschaft*. Berlin: Deutscher Bauernverband.
16. HÜTER, J., F. KLOEPFER, U. KÖBLE, 2005. *Elektronik, Satelliten und Co. Precision Farming in der Praxis*. Münster: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Heft 40052, 52.
17. KARPINSKI, H., 2014. *Volkswirtschaftliche Analyse einer flächenweiten Einführung von Precision Farming in Deutschland* [Dissertation]. Berlin: Humboldt-Universität

18. KLERKX, L., E. JAKKU, P. LABARTHE, 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. In: *NJAS Journal of Life Sciences*. **90-91**. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
19. KLUGE, A., 2011. *Methoden zur automatischen Unkrautererkennung für die Prozesssteuerung von Herbizidmaßnahmen* [Dissertation]. Braunschweig: Technische Universität Carolo-Wilhelmina
20. KNIERIM, A., F. BORGES, M. KERNECKER, T. KRAUS, A. WURBS, 2018. What drives adoption of smart farming technologies? Evidence from a cross-country study. In: *13. European IFSA Symposium*. Chania (Griechenland), 01.-05.07.2018. Verfügbar unter: http://ifsa.boku.ac.at/cms/fileadmin/Proceeding2018/Theme4_Knierim.pdf
21. KUTTER, T., S. TIEMANN, R. SIEBERT, S. FOUNTAS, 2011. The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. In: *Precision Agriculture*, 2-17. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.1007/s11119-009-9150-0>
22. LAMBERT, D., J. LOWENBERG-DEBOER, 2000. Precision Agriculture Profitability Review. *Site-specific Management Center*. Purdue: School of Agriculture Purdue University.
23. LANGENBERG, J., F. NORDHAUS, L. THEUVSEN, 2017. Navigations- und N-Sensorgestützte Anwendungen in der Landwirtschaft - eine Rentabilitätsanalyse. In: A. RUCKELSHAUSEN, A. MEYER-AURICH, W. LENTZ, B. THEUVSEN, Hrsg. *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 97-100.
24. LOWENBERG-DEBOER, J., 1999. Risk management potential of precision farming technologies. In: *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 275-285.
25. MAIDL, F., J. SCHÄCHTL, G. HUBER, 2004. Strategies for Site-Specific Nitrogen Fertilization on Winter Wheat. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture Minnesota*, S. 1938-1949.
26. MARTÍNEZ, J., 2016. Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft – die rechtliche Dimension. In: *Przełqd Prawa Rolnego*. **2(19)**, 13-44.
27. MCBRIDE, W., S. DOBERKOW, 2003. Information and the adoption of precision farming technologies. In: *Journal of Agribusiness*. **21(1)**, 21-38.
28. MEYER, C., 2020. Anträge für Agrarinvestitionsförderung 2021 jetzt vorbereiten. In: *Land & Forst*. 18.11.2020 [Zugriff am 17.03.2021]. Verfügbar unter: <https://www.landundforst.de/landwirtschaft/betrieb/antraege-fuer-agrarinvestitionsfoerderung-2021-vorbereiten-563581>
29. MEYER-AURICH, A., M. GANDORFER, A. HEISSENHUBER, 2008. Economics analysis of precision farming technologies at the farm level: two german case studies. In: O. CASTALONGE, Hrsg. *Agricultural Systems: Economics, Technology and Diversity*. New York: Nova Science Publishers Inc., S. 68-75.
30. MICHELS, M., W. FECKE, P. J. WELLER VON AHLEFELD, O. MUSSHOF, A. HECKMANN, F. BENEKE, 2019. Sind Landwirte bereit für eine Schulung zur Digitalisierung zu bezahlen? In: *Berichte über Landwirtschaft*. **97(1)**, 1-18. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.12767/buel.v97i1.204>
31. MOYSIADIS, V., P. SARIGIANNIDIS, V. VITSAS, A. KHELIFI, 2021. *Smart Farming in Europe*. Department of Electrical and Computer Engineering. Griechenland: University of Western Macedonia. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100345>
32. NADI KARATAY, Y., A. MEYER-AURICH, M. GANDORFER, 2018. Ökonomik der teilflächenspezifischen N-Düngung von Weizen unter Berücksichtigung von Qualität, Risiko und N-Düngerrestriktionen. In: A. RUCKELSHAUSEN, Hrsg. *Digitale Marktplätze und Plattformen*. Bonn: Gesellschaft für Informatik, S. 135-138.
33. NOACK, P., 2016. Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft. DLG-Merkblatt 388.
34. PASCHER, P., U. HEMMERLING, S. NASS, S. STORK, 2020. *Situationsbericht 2020/21 – Trends und Fakten zur Landwirtschaft*. Berlin: Deutscher Bauernverband.
35. PAUSTIAN, M., L. THEUVSEN, L., 2016. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. In: *Precision Agriculture*. **18(2017)**, 701-716. Verfügbar unter: doi:[10.1007/s11119-016-9482-5](https://doi.org/10.1007/s11119-016-9482-5)
36. PIERPAOLI, E., G. CARLI, E. PIGNATTI, M. CANAVARI, 2013. Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. In: *6th International Conference on Information and*

- Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2013)*. Korfu, 19.-22.09.2013. 61-69. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.protcy.2013.11.010
37. PÖSSNECK, J., 2011. Precision Farming im Pflanzenbau. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Dresden [online]. [Zugriff am: 03.11.2020]. Verfügbar unter: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Precision_Farming-Endfassung-Internet-v2.pdf
 38. RECKE, G., H. REMPE, T. JORISSEN, 2022. Zur Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Section Control bei teilflächenspezifischer Düngung im Getreide unter den Anforderungen der neuen Düngeverordnung. In: 42. GIL-Jahrestagung, Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft. 21.-22.02.2022.
 39. REICHARDT, M., C. JÜRGENS, 2008. Precision Farming in Deutschland – bestehende Akzeptanzmuster und zukünftige Perspektiven einer Technologie. In A. WERNER, F. DREGER, J. SCHWARZ, Hrsg. *Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung - pre agree II*. Müncheberg: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, S. 577-606.
 40. REICHARDT, M., C. JÜRGENS, U. KLÖBLE, J. HÜTER, K. MOSER, 2009. Dissemination of precision farming in Germany: acceptance, adoption, obstacles, knowledge transfer and training activities. In: *Precision Agriculture*. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11119-009-9112-6
 41. REICHE, E.-W., A. RINKER, W. WINHORST, K.-C. KERSEBAUM, K. LORENZ, H. PLACHTER, B. JANSSEN, 2002. Untersuchungen zu möglichen ökologischen Auswirkungen teilschlagspezifischer Pflanzenbaumaßnahmen. In: (K. f. (KTBL), Hrsg. *Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis*. S.365-368.
 42. REUTER, C., W. SCHNEIDER, D. EBERZ, M. BAYER, D. HARTUNG, C. KAYGUSUZ, C., 2018. Resiliente Digitalisierung der kritischen Infrastruktur Landwirtschaft - mobil, dezentral, ausfallsicher. In: R. DACHSELT, G. WEBER, Hrsg. *Mensch und Computer 2018*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. Verfügbar unter: DOI: 10.18420/muc2018-ws12-0330
 43. ROBERTS, R. K. und andere, (2004). Precision Agriculture Technology Adoption for Cotton. In: *Journal of Agricultural and Applied Economics*. **36**, 143-158.
 44. RÖSCH, C., M. DUSSELDORP, R. MEYER, 2005. *Precision Agriculture*. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Dt. Bundestag (TAB)
 45. RUGGERI, M., 2015. Is ISOBUS safe? Regulatory and technical aspects for the use of ISOBUS in the context of ISO25119. Hannover.
 46. SCHLEICHER, S., M. GANDORFER, 2018. Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In: A. RUCKSELSHAUSEN, A. MEYER-AURICH, K. BORCHARD, C. HOFACKER, J.-P. LOY, R. SCHWERDTFEGER, B. THEUVSEN, Hrsg. *Digitale Marktplätze und Plattformen*. Bonn, S. 203-206.
 47. SCHMIDHALTER, U., S. JUNGERT, T. EBERTSEDER, R. DUDA, R. GUTSER, G. Gerl, 2003. Erfassung repräsentativer Kenngrößen der Wasserverfügbarkeit und des N-Haushaltes von Teilschlägen. In: *FAM-Jahresbericht 2002*. München: Forschungsverbund Agrarökosysteme, S. 109-116.
 48. SCHROEDER, J., D. VON HOERSTEN, D. HERRMANN, J.K. WEGENER, 2022. Spot Farming - ein digitaler Lösungsansatz für eine kleinskalige und nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft. In: 42. GIL-Jahrestagung, Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft. 21.-22.02.2022.
 49. SCHULTE-OSTERMANN, S., P. WAGNER, 2021. Reduktion negativer Umwelteffekte mit Hilfe einer teilflächenspezifischen Phosphordüngung. In: A. MEYER-AURICH, M. GANDORFER, C. HOFFMANN, C. WELTZIEN, S. BELLINGRATH-KIMURA, H. FLOTO, Hrsg. In: 41. GIL-Jahrestagung, *Informations- und Kommunikationstechnologie in kritischen Zeiten*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 277-282.
 50. TAMIRAT, T. W., S.M. PEDERSEN, K.M. LIND, 2018. Farm and operator characteristics affecting adoption of precision agriculture in Denmark and Germany. In: *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, **68**(4), 349-357. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1402949>

51. THÖLE, H., 2010. *Ansätze zur statistischen Auswertung von On-Farm-Experimenten mit georeferenzierten Daten* [Dissertation]. Berlin: Humboldt-Universität
52. URBAN, D., J. MAYERL, 2011. *Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung*. Deutschland: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
53. VECCHIO, Y., G.P. AGNUSDEI, P.P. MIGLIETTA, F. CAPITANIO, 2020. Adoption of precision farming tools: The case of Italian farmers. In: *International journal of environmental research and public health*. **17**(3), 869. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/ijerph17030869>
54. VINZENT, B., M. MAIDL, S. MÜNSTER, M. GANDORFER, 2019. Überbetrieblicher Einsatz eines Sensorsystems zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. In: M. MEYER-AURICH, M. GANDORFER, N. BARTA, A. GRONAUER, J. KANTELHARDT, & H. FLOTO, Hrsg. *Referate der 39. GIL-Jahrestagung in Wien*. Wien, 18.-19.02.2019. S. 263-268.
55. VUOLO, F., L. ESSL, T. SANDEN, H. SPIEGEL, 2019. Multidisziplinäre Überlegungen zur nachhaltigen N-Düngung unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der satellitengestützten Präzisionslandwirtschaft. In: *Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF 28*. Wien: Publikationen der DGPF.
56. WAGNER, P., 2010. Bewertung unterschiedlicher Ansätze zur teilflächenspezifischen Düngung aus informationstechnischer und ökonomischer Sicht. In: W. CLAUPEIN, L. THEUVSEN, A. KÄMPF, M. MORGENSTERN, Hrsg. *Precision Agriculture Reloaded – Informationsgestützte Landwirtschaft*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 217-220.
57. WALTER, A., R. FINGER, R. HUBER, N. BUCHMANN, 2017. Smart farming is key to developing sustainable agriculture. In: *PNAS*, 114. Verfügbar unter: doi:<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1707462114>

Anschrift der Autoren

Dr. Winnie Isabel Sonntag
Department für Agrarökonomie und RURale Entwicklung
Marketing für Lebensmittel und Agrarprodukte
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

E-Mail: Winnie.Sonntag@agr.uni-goettingen.de

M.Sc. Nico Wienrich
Department für Agrarökonomie und RURale Entwicklung
Marketing für Lebensmittel und Agrarprodukte
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

E-Mail: Nico.Wienrich@web.de

Dr. Maximilian Severin
SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH
Möllensdorfer Straße 13
D-06886 Lutherstadt Wittenberg

E-Mail: Maximilian.Severin@skwp.de

Dr. Dorothee Schulze Schwering
Department für Agrarökonomie und RURale Entwicklung
Marketing für Lebensmittel und Agrarprodukte
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

E-Mail: dorothee.schulze-schwering@agr.uni-goettingen.de