

Prognosen zur Nutzung digitaler Technologien im Schweizer Freilandgemüsebau

Jeanine Ammann¹, Christina Umstätter² und Nadja El Benni¹

¹Agroscope, Forschungsbereich Nachhaltigkeitsbewertung und Agrarmanagement, 8356 Ettenhausen, Schweiz

²Thünen-Institut für Agrartechnologie, 38116 Braunschweig, Deutschland

Auskünfte: Jeanine Ammann, E-Mail: jeanine.ammann@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs13-34> Publikationsdatum: 31. März 2022



Besonders in den Bereichen Bewässerung und Hacken werden digitale Technologien im Gemüsebau voraussichtlich genutzt werden. (Foto: Carole Parodi, Agroscope)

Zusammenfassung

Obwohl die Digitalisierung in der Landwirtschaft schon vor einigen Jahren Einzug gehalten hat, sind die Adoptionsraten in der Schweiz nach wie vor vergleichsweise tief. Es ist unklar, wie sich diese Entwicklung künftig verhalten wird. Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, mittels einer Expertenbefragung gemäss der Delphimethode Prognosen zu erstellen, wie sich die Adoption in den nächsten Jahren entwickeln wird. Auch sollten die wichtigsten hemmenden und fördernden Faktoren der Technologieadoption eruiert werden, ebenso wie Massnahmen, mit denen die Adoption gefördert werden kann. Gemäss einer Umfrage von Agroscope aus dem Jahr 2018 sind die

Adoptionsraten im Pflanzenbau in der Schweiz im Bereich des Freilandgemüsebaus am höchsten. Aufbauend auf diesem Wissen fokussierte die vorliegende Arbeit deshalb spezifisch auf den Freilandgemüsebau. Die Ergebnisse zeigen auf, bei welchen Technologien künftig das grösste Wachstum erwartet werden kann. Zudem werden fördernde und hemmende Faktoren und mögliche Lösungsvorschläge für die Technologieadoption im Freilandgemüsebau identifiziert.

Keywords: digitalisation, smart farming, technology use, drivers, barriers, adoption, vegetable farming, Delphi, Survey.

Einleitung

Digitale Technologien haben in der Landwirtschaft Einzug gehalten, aber die Adoptionsraten unterscheiden sich zwischen verschiedenen Ländern und Technologien noch sehr stark. Auch sind die allgemeinen Adoptionsraten in Europa und auch in der Schweiz, insbesondere in Anbetracht ihres Potenzials, vergleichsweise tief (Barnes *et al.*, 2019; Reichardt und Jürgens, 2008). Mögliche Gründe dafür sind die fortgeschrittenen technischen Fähigkeiten, die nötig sind, um diese Technologien zu bedienen, welche erst noch ausgebaut und in der Ausbildung und der Beratung verankert werden müssen (Eastwood *et al.*, 2019; Eastwood *et al.*, 2012). Ein weiteres, wichtiges Hindernis in der Adoption sind die hohen Anschaffungskosten neuer Technologien und die Tatsache, dass häufig der gesamte Betrieb auf die neuen Technologien umgestellt und angepasst werden muss (Barnes *et al.*, 2019). In der Folge sind es oft grössere Betriebe mit hohem Kapital, die sich eine solche Umstellung leisten können und wollen (Baumgart-Getz *et al.*, 2012; Finger *et al.*, 2019).

In der vorliegenden Studie lag der Fokus auf der Technologieadoption im Freilandgemüsebau (Ammann *et al.*, 2022), da in diesem Betriebszweig die Nutzung digitaler Technologien in der Schweiz vergleichsweise hoch ist (Groher *et al.*, 2020). Zudem hat die landwirtschaftliche Fläche, die in der Schweiz für den Gemüseanbau genutzt wird, in der letzten Dekade zugenommen (Zorn, 2020) und der Gemüseanbau ist aufgrund des vergleichsweise hohen Einsatzes von Pestiziden oder Dünger ressourcenintensiv. Gleichzeitig steigt der gesellschaftliche Druck auf die Landwirtschaft hinsichtlich der Erreichung der Umweltziele, was sich durch eine Vielzahl an Initiativen zeigt, welche seit 2016 eingereicht wurden und landwirtschaftliche oder ernährungspolitische Themen behandeln (Huber und Finger, 2019). Es erstaunt deshalb nicht, dass sowohl die Landwirtschaft als auch politische Entscheidungsträger nach Lösungen und Wegen suchen, um die Umwelteffekte der landwirtschaftlichen Produktion möglichst gering zu halten. Insbesondere die Gemüsebaubetriebe versuchen gezielt, das Potenzial neuer Technologien zu nutzen, um die negativen Umwelteffekte der landwirtschaftlichen Produktion zu reduzieren. Hier setzt die vorliegende Studie an und hat zum Ziel, besonders vielversprechende Technologien zu identifizieren und Massnahmen aufzuzeigen, welche die Technologieadoption unterstützen können, um zu einer verbesserten Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft beizutragen. Zudem unterstützt diese Studie auch die Bemühungen der «Charta Digitalisierung» (Charta zur

Digitalisierung der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft, 2018; El Benni *et al.*, 2020), die zum Zweck hat, Vertreterinnen und Vertreter der Land- und Ernährungswirtschaft in der Schweiz zu einen, gemeinsam einen aktiven Beitrag in der Digitalisierung zu leisten und eine breit abgestützte strategische Basis für die nachhaltige Nutzung der Digitalisierung in der Land- und Ernährungswirtschaft zu ermöglichen. Spezifisch trägt die vorliegende Studie beispielsweise zur Charta bei, indem sie den Wissenstransfer unterstützt (Leitlinie XI) und aufzeigt, wie Technologien weiterentwickelt werden können (Leitlinie XII).

Methodisches Vorgehen

Die Delphimethode

Um die beschriebenen Forschungsfragen zu beantworten, nutzt die vorliegende Studie die Delphimethode, um Vorhersagen zur Technologieadoption zu generieren. Mit dieser Methode wird nicht eine repräsentative Stichprobe aus der Bevölkerung befragt, sondern mit einem auserwählten Panel von Expertinnen und Experten gearbeitet (Devaney und Henschion, 2018). Ziel ist es, innerhalb des Expertenpanels eine Einigung bezüglich möglicher Szenarien für künftige Entwicklungen zu erzielen. Die meisten Delphistudien teilen dabei vier methodische Kriterien (Anderhofstadt und Spinler, 2019; Rowe und Wright, 2001; von der Gracht, 2012).

Das erste, wichtige Kriterium ist die Anonymität der Expertinnen und Experten. Dem Expertenpanel bleibt die Identität der anderen Expertinnen und Experten während des ganzen Befragungsprozesses unbekannt. Damit wird verhindert, dass einzelne Individuen den Diskurs dominieren oder sich andere Gruppendynamiken wie beispielsweise Gruppendruck durchsetzen (Dalkey und Helmer, 1963). Als zweites Merkmal zeichnen sich diese Studien durch mehrere Befragungsrunden aus. Dieses Vorgehen erlaubt es dem Expertenpanel, ihre Antworten zu überdenken und allenfalls im Laufe der Befragung anzupassen. Das dritte Element ist das kontrollierte Feedback. Dem Expertenpanel werden die Antworten der vorhergegangenen Befragungsrunden zusammengefasst als neue Entscheidungsgrundlage präsentiert, um die eigenen Antworten nochmal zu überdenken (Hsu und Sandford, 2007). Als viertes Kriterium ist aufzuführen, dass in Delphistudien von der Versuchsleitung Feedback als statistische Gruppenantwort dem Panel präsentiert wird. Dazu werden üblicherweise Mittelwerte oder Mediane verwendet.

Ablauf

Alle Expertinnen und Experten wurden vorgängig kontaktiert, um sie über den Ablauf der Studie zu informieren und anzufragen, ob sie daran teilnehmen möchten. Wer an einer Teilnahme interessiert war, wurden dem Panel hinzugefügt. Die Delphistudie wurde mithilfe des Onlinebefragungstools Unipark (Questback GmbH, 2017) durchgeführt. Die Onlinebefragung erfolgte von Oktober bis Dezember 2020 über zwei Befragungsrunden. Die Expertinnen und Experten wurden gebeten, die Umfrage innert einer Woche auszufüllen. In der darauffolgenden Woche wurden alle, welche die Umfrage noch nicht beantwortet hatten, kontaktiert und nochmals erinnert, die Umfrage innerhalb einer Woche auszufüllen (Kent und Saffer, 2014). Damit betrug die Feldzeit pro Befragungsrunde insgesamt jeweils zwei Wochen. Zwischen der ersten und der zweiten Befragungsrunde lag wiederum eine Woche, die zur Auswertung der Daten und zur Erstellung des Fragebogens der zweiten Runde durch die Versuchsleitung genutzt wurde. Jede Expertin und jeder Experte bekam einen individuellen Expertencode zugestellt, um sicherzustellen, dass die Daten anonym behandelt werden, aber gleichzeitig die Überprüfung des Rücklaufs möglich war. In der zweiten Befragungsrunde wurden die Expertinnen und Experten über die Resultate der ersten Runde informiert und anschliessend um eine erneute Einschätzung gebeten. Die Resultate der ersten Befragung wurden, in Abhängigkeit der Fragestellung, als Abbildungen oder in Form von Mittelwerten oder Anzahl Nennungen präsentiert. Um den Zeitaufwand für die Expertinnen und Experten möglichst klein zu halten und die Panelsterblichkeit zu minimieren, wurde die Delphibefragung auf zwei Runden beschränkt (Alon *et al.*, 2019). Der Ab-

Tab. 1 | Überblick über die Zusammensetzung der ausgewählten Delphi-Expertengruppe.

Expertengruppe	Anzahl Eingeladene	R1*	R2*	Total
1 Produzenten/ Lohnunternehmer	8	8	5	
2 Zulieferer	8	7	7	
3 Verbände	6	5	4	
4 Forschung	5	4	4	
5 Beratung	7	6	6	
Rücklaufquote		88 %	87 %	76 %

*R1: Delphi Runde 1, R2: Delphi Runde 2. Die Unterteilung zwischen den Gruppen ist nicht in jedem Fall eindeutig. Einige der Expertinnen und Experten könnten mehreren Gruppen zugeteilt werden.

lauf der Befragung ist in Abb. 1 | Übersicht über den Studienaufbau für die zweistufige Delphibefragung dargestellt.

Auswahl des Expertenpanels

Bei Delphistudien ist die Auswahl des Expertenpanels ein zentraler Schritt, der unmittelbar auch die Qualität der resultierenden Daten beeinflusst. Während traditionelle Befragungsmethoden darauf abzielen, repräsentative Stichproben zu testen, arbeitet die Delphimethode mit einem auserwählten Panel von Expertinnen und Experten. (Devaney und Henchion, 2018). Für den Erfolg der Delphistudie ist es daher von zentraler Bedeutung, dass das Panel über die entsprechende Expertise verfügt (Rowe und Wright, 2001). Dennoch sollte das Expertenpanel möglichst heterogen sein und zwischen fünf und zwanzig Expertinnen und Experten umfassen, die möglichst aus unterschiedlichen geografischen Gebieten stammen (Belton *et al.*, 2019; Häder, 2014; Rowe und Wright, 2001).

In der vorliegenden Studie wurden potenzielle Expertinnen und Experten innerhalb der Schweiz aufgrund Ihrer Expertise im Bereich Gemüsebau und digitaler Technologien ausgewählt und kontaktiert. Mittels Schneeballverfahren wurden über die kontaktierten Personen weitere potenzielle Expertinnen erreicht. In Anlehnung an Busse *et al.* (2014) wurden fünf Expertengruppen definiert (Tab. 1) und folgend der Empfehlung von Häder (2014) ein Minimum von fünf Expertinnen und Experten pro Gruppe angestrebt.

Insgesamt wurden mehr als 100 potenzielle Expertinnen und Experten in der Schweiz kontaktiert. Davon haben sich 45 selber als für die Studie geeignet empfunden oder an einer Teilnahme interessiert gezeigt. Unter Berücksichtigung der erwähnten Aspekte (Gruppengrösse, Heterogenität etc.) wurde das Panel auf 34 Personen reduziert und zur ersten Befragungsrunde eingeladen.

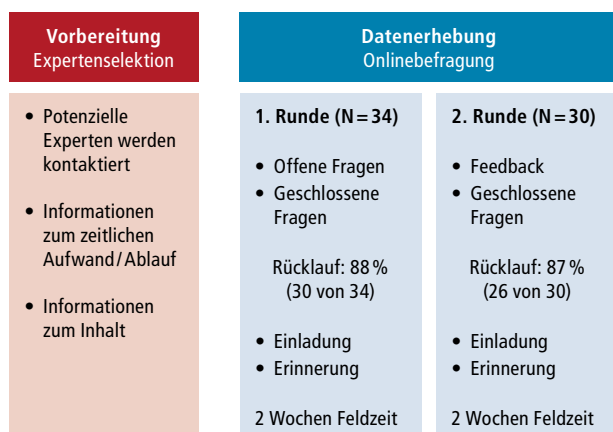


Abb. 1 | Übersicht über den Studienaufbau für die zweistufige Delphibefragung.

Datengrundlage

Die Umfrage bestand aus fünf Teilen. Im ersten Teil wurden die Expertinnen und Experten über die Studie informiert und um ihr Einverständnis an der Studienteilnahme gebeten. Zudem wurden sie in diesem Teil nach ihrem Expertencode gefragt. Weiter sollten sie ein paar Fragen zu ihrer beruflichen Tätigkeit und ihrer Ausbildung beantworten. Im zweiten Teil der Umfrage wurden die Teilnehmenden gebeten, Prognosen bezüglich der Adoption digitaler Technologien im Freilandgemüsebau abgeben. Dazu sollten sie die drei Technologien nennen, von denen sie denken, dass sie künftig besonders an Bedeutung gewinnen würden. Im dritten Teil der Umfrage wurden die Teilnehmenden über den Stand der Adoption ausgewählter Technologien im Freilandgemüsebau im Jahr 2018 informiert und gefragt, wie sie die Entwicklung für die nächsten 1–2 Jahre, die nächsten 5 Jahre und die nächsten 10 Jahre einschätzen. In einem vierten Teil der Umfrage wurden die Teilnehmenden gebeten, je mindestens drei Vorteile oder Gründe sowie Nachteile oder Gründe für den Einsatz digitaler Technologien zu nennen. Im Anschluss sollten sie dann noch mögliche Lösungen angeben, um diese Hemmnisse zu überbrücken. Zum Abschluss wurden die Teilnehmenden gefragt, welches mögliche Massnahmen in den Bereichen Politik, Gesetzgebung und Infrastruktur sein könnten, um die Adoption digitaler Technologien zu fördern. Den Empfehlungen in der Literatur folgend (Häder, 2014), wurden bei den meisten Fragen Textfelder zur

Verfügung gestellt, damit die Expertinnen und Experten bei Bedarf ihre Antworten begründen oder ergänzen konnten. Dies erlaubte es ihnen zugleich, bei Bedarf mehr als drei Antworten zu nennen.

Vor der Datenerhebung wurde ein Pretest mit vier Personen durchgeführt, die später nicht in die Studie involviert waren, aber über das entsprechende Fachwissen verfügten (Marvin *et al.*, 2020). Diese Personen gaben wertvolle Rückmeldungen zur Dauer und zum Verständnis der Befragung. Das Ausfüllen des Fragebogens dauerte zwischen 15 und 30 Minuten.

Die zweite Befragungsrunde war analog der ersten Befragung aufgebaut, wobei offene Fragen in geschlossene Fragen umformuliert wurden. Bei der Frage nach vielversprechenden Technologien wurde aufgrund der Antworten der ersten Befragungsrunde beschlossen, diese Frage in zwei Fragen umzuformulieren, um zwischen Technologien und Anwendungen unterscheiden zu können. Im dritten Teil der Umfrage wurde die Sprühdrohne als Technologie weggelassen, da sich die Expertinnen und Experten einig waren, dass diese Technologie im Freilandgemüsebau in den nächsten 10 Jahren nur wenig Entwicklungspotenzial haben wird.

Datenauswertung

Die Resultate der offenen Fragen, welche über Textfelder gesammelt wurden, wurden codiert und in Antwortgruppen zusammengefasst. Nennungen wie beispielsweise «autonome Maschinen» oder verschiedene Roboter (z. B. Hackroboter) wurden unter der Gruppe *autonome Maschinen oder Roboter* zusammengefasst. Die Daten wurden mittels Microsoft Excel und IBM SPSS ausgewertet.

Resultate

Prognosen der Technologieadoption

Basierend auf den Daten zur Technologieadoption aus dem Jahr 2018 (Groher *et al.*, 2020) sollte das Expertenpanel die kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung der Adoption schätzen. Gemäss den Prognosen des Expertenpanels ist der Einsatz von elektronischen Messsystemen bei der Bewässerung und beim Hacken besonders vielversprechend (Abb. 2 | Geschätzte Entwicklung der Adoptionsraten in der Schweiz für vier Technologien.). Unklar ist, wieso das Expertenpanel in der zweiten Befragungsrunde die Adoptionsrate für Fahrerassistenzsysteme in 1–2 Jahren als geringer einschätzt als zum Referenzzeitpunkt 2018. Es scheint eher unrealistisch, dass Betriebe, welche diese Technologie bereits nutzen, diese künftig nicht mehr nutzen sollten.

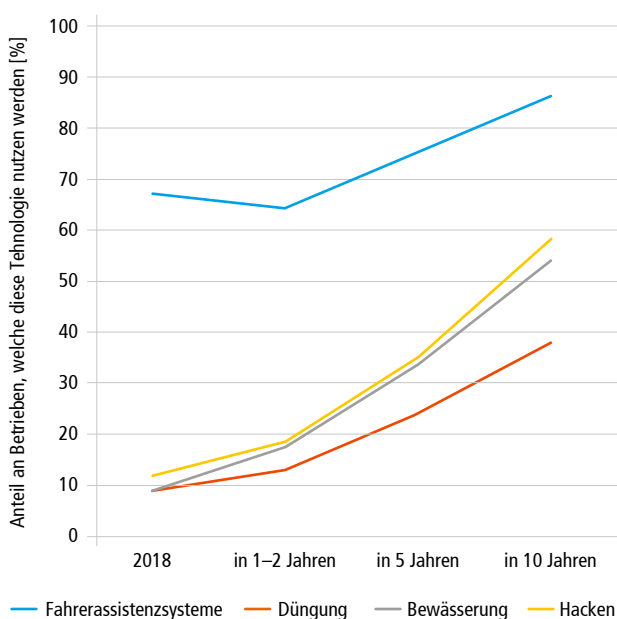


Abb. 2 | Geschätzte Entwicklung der Adoptionsraten in der Schweiz für vier Technologien.

Determinanten der Technologieadoption

Bei der Frage nach Vorteilen oder Gründen für die Nutzung digitaler Technologien nannten 88 % des Expertenpanels in der zweiten Runde das «Sparen von Ressourcen» als wichtigsten Faktor für die Adoption. Je die Hälfte der Teilnehmenden gaben zudem an, dass die gesetzlichen Vorgaben mit den Technologien besser eingehalten werden können, dass tiefere Kosten oder höhere Einnahmen resultieren, oder dass Zeit oder Arbeit eingespart werden können.

Bei der Frage nach möglichen Nachteilen bei der Nutzung digitaler Technologien oder möglichen Gründen gegen eine Nutzung wurden die hohen Kosten und der Reifegrad der Technologieentwicklung als wichtigste Punkte genannt. Als weiteres Hindernis wurde fehlendes Wissen oder fehlende Ausbildung aufgeführt. Einerseits braucht es ein bestimmtes Grundwissen bei den Betriebsleitenden, um die neuen Technologien bedienen zu können, andererseits müssen auch allfällige Hilfsarbeitskräfte damit umgehen können. Dazu braucht es gewiss auch eine Affinität für Computer und Technologie.

Massnahmen zur Förderung der Technologieadoption

In einem nächsten Teil der Umfrage wurden die Expertinnen und Experten nach möglichen Lösungsansätzen gefragt, die helfen könnten, die Technologieadoption zu fördern. Insgesamt jeweils 58 % der Teilnehmenden nannten Bildungsangebote und finanzielle Unterstützung als Lösungsvorschläge. Weiter nannten 42 % «mehr Praxisnähe» als mögliche Massnahme, um die Technologieadoption zu fördern.

Bei der spezifischen Frage nach politischen Massnahmen nannten die Expertinnen und Experten erneut finanzielle Unterstützung und die Verstärkung der Praxisnähe (z. B. durch Modellprojekte). Beide Massnahmen wurden von je mehr als 60 % der Teilnehmenden genannt, was auf eine grosse Einigkeit hindeutet. Dennoch gab es auch einzelne kritische Stimmen, die finden, dass nicht an der finanziellen Unterstützung geschraubt werden soll, sondern stattdessen Betriebe eine grössere Bereitschaft aufweisen sollten, in neue Technologien zu investieren.

Die Antworten zu möglichen regulatorischen und politischen Massnahmen überschneiden sich stark. An erster Stelle stand wiederum die finanzielle Unterstützung. Die Hälfte der Expertinnen und Experten nannten zudem die Regulierung des autonomen Fahrens als potenzielle Massnahme.

Im Bereich der infrastrukturellen Massnahmen scheint indessen kaum Handlungsbedarf zu bestehen. Insgesamt 73 % der Expertinnen und Experten nannten die Verbesserung der Signalabdeckung als mögliche Mass-

nahme, während die restlichen 27 % angaben, dass es keine infrastrukturellen Massnahmen braucht oder das Potenzial in dem Bereich schlicht zu klein sei und man sich besser dringenderen Problemen zuwenden solle.

Diskussion

Mit der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass Expertinnen und Experten insbesondere im Bereich der Bewässerung und dem Hacken hohe Adoptionsraten erwarten. Die Vermutung liegt nahe, dass der Druck durch den Klimawandel und die geforderte Reduktion des Pestizid- oder Düngereinsatzes die Ursachen für dieses Resultat sind. Die zu erwartenden Entwicklungen in der Technologienachfrage werden sich beträchtlich auf die Nachfrage nach entsprechenden Informations- und Bildungsangeboten auswirken und sind damit von grossem Interesse für Auszubildende, Forschende und Technologievermarktende.

Die Studie hat gezeigt, dass ökonomische Aspekte eine zentrale Rolle bei der Technologieadoption spielen, aber auch der gesellschaftliche und politische Druck eine gewichtige Rolle bei der Technologienutzung einnimmt. So gaben zum Beispiel nur 50 % der Befragten die Einsparung von Zeit und Arbeit als wichtigen Grund für die Technologienutzung an.

Der technologische Fortschritt kann zusätzlich begünstigt werden, indem bestehende Hürden abgebaut werden. Derzeit braucht es in den meisten Fällen viel Zeit, Geld und weitere Anstrengungen in Bildung und Beratung, um eine neue Technologie zu implementieren. Das führt dazu, dass die Adoption eher langsam voranschreitet und die Betriebe bevorzugt mit den Technologien weiterarbeiten, die sie bereits nutzen und kennen. So beschrieb zum Beispiel eine Person, dass der Pestizideinsatz aktuell kostengünstiger ist als die Verwendung eines Hackroboters, und regulatorische Vorgaben nötig wären, damit die Betriebe auf neue Technologien umsteigen.

Ein zentrales Anliegen der Expertinnen und Experten ist die Förderung der Praxisnähe (Ammann *et al.*, 2022). Hierfür bedarf es kommunikativer Anstrengungen. Bereits in einer früheren Studie wurde festgehalten, dass Kommunikation ein zentrales Element sein kann, um digitale Technologien in der Landwirtschaft zu bewerben (Kutter *et al.*, 2009). Beispielsweise kann positive Kommunikation unter Berufskollegen dazu beitragen, dass das Vertrauen in die Technologien gestärkt wird. Um die Praxisnähe zu verbessern, wurden in zahlreichen Ländern unterschiedliche Projekte initiiert, z. B. die von der Regierung geförderten Experimentierfelder in

Deutschland mit einem Netz an Pilotbetrieben mit dem Ziel, digitale Technologien zu testen und zu verfeinern (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft BMEL, 2018). Das Pendant in der Schweiz ist die 2018 ins Leben gerufene öffentlich-private Zusammenarbeit der Swiss Future Farm, die Lösungen für die in der Praxis bestehenden Probleme sucht und auf dem Feld demonstriert (Swiss Future Farm, 2021).

Schlussfolgerungen

Mit der vorliegenden Delphistudie konnte gezeigt werden, dass im Schweizer Freilandgemüsebau eine grosse Nachfrage nach finanzieller Unterstützung besteht, um die monetären Hürden der Anschaffung neuer Technologien zu überwinden. Des Weiteren sehen die Expertinnen und Experten grosses Potenzial in der Förderung neuer Technologien durch mehr Praxisnähe. Diese kann

beispielsweise über Ausbildungsprogramme oder Beratungen geschaffen werden. Besonders grosses Wachstum wird in den Bereichen der Bewässerung und des Hackens erwartet. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Prognosen stark von dem aktuellen politischen Umfeld und den klimatisch bedingten zunehmenden Extremereignissen getrieben sind. Digitale Technologien können aus Sicht der befragten Expertinnen und Experten massgebend dazu beitragen, die künftigen Herausforderungen in der Landwirtschaft zu meistern. ■

Dank

Die Autorinnen der vorliegenden Studie bedanken sich bei Dr. Tanja Groher für ihre wertvolle Vorarbeit und bei Prof. Dr. Achim Walter und Simone Meyer für die Unterstützung bei der Auswahl des Expertenpanels. Weiter danken die Autorinnen Dr. Margret Keck und Martin Schlatter für die Rückmeldungen zum Fragebogen.

Literatur

- Alon, I., Guimón, J., & Urbanos-Garrido, R. (2019). What to expect from assisted reproductive technologies? Experts' forecasts for the next two decades. *Technological Forecasting and Social Change*, **148**. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119722>.
- Ammann, J., Umstätter, C., & El Benni, N. (2022). The adoption of precision agriculture enabling technologies in Swiss outdoor vegetable production – a Delphi study. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09889-0>.
- Ammann, J., Walter, A., & El Benni, N. (2022). Adoption and perception of farm management information systems by future Swiss farm managers – An online study. *Journal of Rural Studies*, **89**, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.12.008>.
- Anderhofstadt, B., & Spinler, S. (2019). Factors affecting the purchasing decision and operation of alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany – A Delphi study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **73**, 87–107. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.06.003>.
- Barnes, A. P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Gómez-Barbero, M. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*, **80**, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.004>.
- Baumgart-Getz, A., Prokopy, L. S., & Floress, K. (2012). Why farmers adopt best management practice in the United States: a meta-analysis of the adoption literature. *Journal of Environmental Management*, **96**(1), 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.006>.
- Belton, I., MacDonald, A., Wright, G., & Hamlin, I. (2019). Improving the practical application of the Delphi method in group-based judgment: A six-step prescription for a well-founded and defensible process. *Technological Forecasting and Social Change*, **147**, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.07.002>.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft BMEL. (2018). Bundesministerin Julia Klöckner: «Roboter, Drohnen, Satelliten – ich werde digitale Experimentierfelder auf landwirtschaftlichen Betrieben fördern.» Medienmitteilung. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2018/123-experimentierfelder.html>.
- Busse, M., Doernberg, A., Siebert, R., Kuntosch, A., Schwerdtner, W., König, B., & Bokelmann, W. (2014). Innovation mechanisms in German precision farming. *Precision Agriculture*, **15**(4), 403–426. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9337-2>.
- Charta zur Digitalisierung der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft (2018). https://agridigital.ch/wp-content/uploads/2018/06/Charta_Digitalisierung.pdf.
- Dalkey, N. C., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, **9**(3), 458–467.
- Devaney, L., & Henchion, M. (2018). Who is a Delphi «expert»? Reflections on a bioeconomy expert selection procedure from Ireland. *Futures*, **99**, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.03.017>.
- Eastwood, C., Ayre, M., Nettle, R., & Dela Rue, B. (2019). Making sense in the cloud: Farm advisory services in a smart farming future. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, **90–91**. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.004>.
- Eastwood, C., Chapman, D., & Paine, M. (2012). Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. *Agricultural Systems*, **108**, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2011.12.005>.
- El Benni, N., Ryser, U., Rösch, M., Mattmann, M., Abt, F., Paupe, L., & Gusset, M. (2020). Charta zur Digitalisierung: gemeinsam zu tragfähigen Lösungen. *Agrarforschung Schweiz*, **11**, 91–101.
- Finger, R., Swinton, S. M., El Benni, N., & Walter, A. (2019). Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. *Annual Review of Resource Economics*, **11**(1), 313–335. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>.
- Groher, T., Heitkämper, K., Walter, A., Liebisch, F., & Umstätter, C. (2020). Status quo of adoption of precision agriculture enabling technologies in Swiss plant production. *Precision Agriculture*, **21**(6), 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09723-5>.
- Häder, M. (2014). *Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch* (3. Aufl. 2014). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (2007). The delphi technique: making sense of consensus. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, **12**(10). <https://doi.org/10.7275/pdz9-th90>.

- Kent, M. L., & Saffer, A. J. (2014). A Delphi study of the future of new technology research in public relations. *Public Relations Review*, **40**(3), 568–576. <https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2014.02.008>.
- Kutter, T., Tiemann, S., Siebert, R., & Fountas, S. (2009). The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. *Precision Agriculture*, **12**(1), 2–17. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9150-0>.
- Marvin, H. J. P., van Asselt, E., Kleter, G., Meijer, N., Lorentzen, G., Johansen, L.-H., . . . Bouzembrak, Y. (2020). Expert-driven methodology to assess and predict the effects of drivers of change on vulnerabilities in a food supply chain: Aquaculture of Atlantic salmon in Norway as a showcase. *Trends in Food Science & Technology*, **103**, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.022>.
- Questback GmbH. (2017). EFS Survey (Version Summer 2017). Köln: Questback GmbH.
- Reichardt, M., & Jürgens, C. (2008). Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. *Precision Agriculture*, **10**(1), 73–94. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9101-1>.
- Rowe, G., & Wright, G. (2001). Expert opinions in forecasting: the role of the delphi technique. In: J. Scott Armstrong (Hrsg.), *Principles of forecasting a handbook for researchers and practitioners* (S. 125–144). Boston, Mass.: Kluwer Academic.
- Swiss Future Farm. (2021). www.swissfuturefarm.ch.
- von der Gracht, H. A. (2012). Consensus measurement in Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change*, **79**(8), 1525–1536. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>.