

Nutzung digitaler Technologien in der Schweizer Landwirtschaft

Tanja Groher, Katja Heitkämper und Christina Umstätter
Agroscope, 8356 Ettenhausen, Schweiz

Auskünfte: Tanja Groher, E-Mail: tanja.groher@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs11-59> Publikationsdatum: 4. Juni 2020



Abb. 1 | Digitale Hilfsmittel für die Landwirtschaft: Aufzeichnung tierindividueller Parameter durch Sensoren am Tier (links); Fahrerassistenzsysteme unterstützen bei der Bewirtschaftung der Felder (rechts). (Fotos: Gaëtan Bally)

Zusammenfassung

Die Digitalisierung wird heute als fester Bestandteil der modernen Landwirtschaft gesehen. Verschiedenste digitale Technologien stehen im Pflanzenbau und in der Tierhaltung zur Verfügung. Es ist jedoch unklar, welche digitalen Technologien derzeit in der landwirtschaftlichen Praxis tatsächlich eingesetzt werden und in welchem Umfang. Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, den aktuellen Status quo in der Schweizer Landwirtschaft als Beispiel einer kleinräumigen, diversifizierten und gleichzeitig hoch mechanisierten Landwirtschaft zu erheben. In diesem Zusammenhang fokussiert sich die Arbeit im Bereich Pflanzenbau auf den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen und elektronischen Messsystemen an den Maschinen. Im Bereich der Tierhaltung wird die Nutzung elektronischer Sensoren und Messgeräte, elektronischer Steuerungen

und elektronischer Datenverarbeitungsmöglichkeiten sowie der Einsatz von Robotik in der Wiederkäuerhaltung erfasst. Darüber hinaus wurde die Verwendung von elektronischen Ohrmarken für Schweine und die Nutzung von Smartphones zur Stallüberwachung in der Geflügelhaltung erhoben. Um den Adoptionsprozess besser zu verstehen, wurden die Betriebs- und Betriebsleitermerkmale im Zusammenhang mit der Nutzung digitaler Technologien mit Hilfe von Regressionsanalysen bewertet. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede in den Adoptionsraten zwischen verschiedenen landwirtschaftlichen Betriebszweigen und zwischen Technologiearten.

Key words: digitalisation, technological progress, plant production, ruminant farming.

Einleitung

Der Einsatz digitaler Technologien (Abb. 1) findet zunehmendes Interesse in der Öffentlichkeit, auf landwirtschaftlichen Betrieben und der Politik. Die Thematik der Digitalisierung in der Landwirtschaft geht oft einher mit Begriffen wie «Präzisionslandwirtschaft», «Smart Farming» oder «Landwirtschaft 4.0» (Pierpaoli *et al.* 2013; Paustian und Theuvsen 2017). Dabei handelt es sich meist um komplexe Managementsysteme, die jedoch immer auf der Nutzung verschiedener digitaler Technologien beruhen, die die landwirtschaftliche Praxis verändern können (Walter *et al.* 2017). Das Potential und die Vorteile der Integration solcher Technologien auf dem Acker, im Stall oder auch als Unterstützung im Büro und somit in den Betriebsablauf sind vielfältig. Zum einen können Ressourcen eingespart werden, beispielsweise durch eine präzisere Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln oder Düngern. Dies hat neben finanziellen auch ökologische Vorteile, indem weniger Überschüsse in den Boden eingetragen werden. Zum anderen ergibt sich die Möglichkeit, Betriebsdaten digital zu erfassen und auf Basis dieser Daten Entscheidungen im Betriebsmanagement zu optimieren. Zusätzlich können digitale Technologien besonders in der Nutztierhaltung zu einer höheren Flexibilität im Arbeitsalltag führen. So muss der Betriebsleiter nicht zwingend zu festen Uhrzeiten selbst im Stall sein, wenn ein Melkroboter anstelle eines herkömmlichen Melkstandes auf dem Betrieb zum Einsatz kommt (Meijering *et al.* 2004). Digitale Technologien verändern den Arbeitsalltag der Landwirtinnen und Landwirte sowohl in der Pflanzenproduktion als auch in der Nutztierhaltung. Für die arbeitende Person bedeutet dies eine Verschiebung von physischer hin zu kognitiver, psychischer Arbeitsbelastung.

Eine Vielzahl an Studien hat sich in den letzten Jahren weltweit mit der Adoption digitaler Technologien in der Landwirtschaft befasst und Betriebs- und Betriebsleitercharakteristika identifiziert, die mit der Adoption in Verbindung stehen (Pierpaoli *et al.* 2013). Ein Beispiel hierfür ist das Alter des Betriebsleiters, welches häufig einen Einfluss auf die Nutzung digitaler Technologien hat (Tey und Brindal 2012). Die Ergebnisse aus der Literatur sind jedoch uneinheitlich. Während einige Studien zeigen, dass die Nutzer oft jünger sind (Daberkow und McBride 2003; Barnes *et al.* 2019), konnte in anderen Studien kein deutlicher Altersunterschied zwischen Nutzern und Nicht-Nutzern festgestellt werden (Paustian und Theuvsen 2017; Lima *et al.* 2018). Darüber hinaus sind weitere korrelierende Variablen bekannt. Die Region oder die Bewirtschaftung in Voll- oder Teilzeit (Reichardt und Jürgens 2009; Konrad *et al.* 2019) kann genauso eine Rolle spielen wie die Betriebsgrösse. Grosse Betriebe nutzen eher digitale Technologien als kleine Betriebe, wobei die Grösse meist an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (ha) oder in der Anzahl der Tiere gemessen wird (Reichardt und Jürgens 2009; Gargiulo *et al.* 2018). Es sind noch weitere Betriebsmerkmale bekannt, die im Adoptionsprozess eine Rolle spielen wie zum Beispiel die Produktionsform (biologischer oder konventioneller Anbau), die Spezialisierung der Betriebe und auch die persönliche Einstellung der Betriebsleitenden (Paustian und Theuvsen 2017; Konrad *et al.* 2019). Darüber hinaus besteht ein entscheidender Unterschied hinsichtlich der Adoption digitaler Technologien in der Tierhaltung im Vergleich zur Pflanzenproduktion. In der Tierhaltung sind zum einen häufig Stallsysteme zu finden, die aufgrund von hohen Investitionskosten Jahrzehnte vorausgeplant werden und somit eine kurzfristige Adoption erschweren. So betragen die Investitionskosten für einen neuen Milchviehstall in der Schweiz je nach Stalltyp, Anzahl der Kühe oder Melkstandtyp rund 11 000 bis 22 000 Franken pro Kuhplatz, bei einer Amortisationszeit von 25 Jahren (Gazzarin und Hilty 2002). Zum anderen kann das Haltungssystem an sich die Adoption digitaler Technologien bestimmen. Ein Beispiel ist der Einsatz von Aktivitätssensoren zur Einzeltierüberwachung: Während sich in Laufställen das Wohlbefinden der Tiere aus den Daten ableiten lässt, ist der Einsatz dieser Technologie in Anbindehaltung nicht möglich, da die Kühe sich nicht frei bewegen können.

Die Schweiz unterscheidet sich aufgrund ihrer landwirtschaftlichen Strukturen vom europäischen Ausland. Im Vergleich zu den Nachbarländern wie Deutschland oder Frankreich sind die Betriebe mit 20,5 ha im Schnitt deutlich kleiner (Ferjani *et al.* 2015; BLW 2018). Der Bund unterstützt eine nachhaltige Landwirtschaft finanziell, so dass kleine, diversifizierte Betriebe bestehen bleiben können. Jedoch zeigt sich der weltweite Trend hin zu grösseren spezialisierten Betrieben auch in der Schweiz, was in einer sinkenden Anzahl von Betrieben und einer steigenden Betriebsgrösse resultiert (Zorn 2020). Im Jahr 2018 bewirtschaftete ein Landwirt im Durchschnitt mehr als doppelt so viel Fläche wie noch im Jahr 1975 und die Anzahl der Betriebe in der oberen Betriebsgrössenverteilung von 50 ha und mehr stieg an (BFS 2019a). Auch die Anzahl der Tiere pro Betrieb ist gestiegen, jedoch gibt es für die Fleisch- und Eierproduktion gesetzliche Höchstwerte, die nicht überschritten werden dürfen (BFS 2019b). Auch wenn die Betriebsgrössen in der

Schweizer Landwirtschaft im internationalen Vergleich im unteren Bereich liegen, ist der Mechanisierungsgrad recht hoch. Sinkenden Betriebszahlen stehen steigende Zulassungen für Landmaschinen gegenüber (BFS 2018). Ziel der vorliegenden Studie war es, den aktuellen Stand der Digitalisierung in der Schweizer Pflanzenproduktion und Nutztierhaltung (mit Fokus auf die Wiederkäuerhaltung) zu erfassen. In einem ersten Schritt wurde basierend auf Umfrageergebnissen die Adoptionsrate von Einzeltechnologien evaluiert. In einem zweiten Schritt wurden Betriebs- und Betriebsleitercharakteristika identifiziert, die mit der Adoption digitaler Technologien in Verbindung stehen. Die Pflanzenproduktion und Wiederkäuerhaltung wurden separat untersucht.

Methode

Datengrundlage

Die vorliegende Studie basiert auf Daten aus einer randomisierten, postalischen Umfrage zum Thema «Technischer Fortschritt», die zwischen Januar und März 2018 auf Schweizer Landwirtschaftsbetrieben durchgeführt wurde. Ziel war es, den Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad in verschiedenen landwirtschaftlichen Betriebszweigen zu ermitteln. Insgesamt wurden 17 Fragebögen entwickelt, die sowohl die Tier- als auch die Pflanzenproduktion abdecken. Jeder Betrieb erhielt einen Fragebogen zu einem einzelnen Betriebszweig. Dabei handelte es sich nicht zwangsläufig um den Hauptbetriebszweig. Die Fragen und Antwortmöglichkeiten waren jeweils an den entsprechenden Betriebszweig angepasst.

Als Basis für die Bestimmung der Grundgesamtheit diente die landwirtschaftliche Strukturerhebung des Jahres 2016, die 53 263 Betriebe umfasst. In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Statistik wurde für jeden Betriebszweig abhängig von der Fläche oder der Anzahl der Tiere ein Cutoff und eine Grössenschichtung erstellt, um eine möglichst repräsentative Stichprobe mit Betrieben unterschiedlicher Grössenklassen zu erhalten (detaillierte Methodenbeschreibung in Groher *et al.* 2020). Insgesamt wurden 4954 Fragebögen verschickt und 2657 Fragebögen konnten zur weiteren Auswertung verwendet werden. Das entspricht einer Rücklaufquote von 59 %.

Die Umfrageergebnisse wurden mit Betriebs- und Betriebsleitercharakteristika aus der amtlichen landwirtschaftlichen Strukturerhebung verknüpft, um zusätzliche strukturelle und soziodemographische Informationen über die Betriebe zu erhalten. Dazu zählten das Alter und Geschlecht des Betriebsleiters, die landwirt-

schaftliche Nutzfläche (ha) und die Anzahl an Grossvieheinheiten, Informationen über die Bewirtschaftungsart (konventionell/biologisch) und -form (Haupt- oder Nebenerwerbsbetrieb) sowie die Lage des Betriebs (Tal/Hügel/Berg und Region innerhalb der Schweiz). Ausserdem wurde der Hauptbetriebstyp gemäss INLB (Informationsnetz landwirtschaftliche Buchführung, Brüssel) (spez. Ackerbaubetriebe, spez. Gartenbaubetriebe, spez. Dauerkulturbetriebe, spez. Wiederkäuerbetriebe, spez. Veredlungsbetriebe, Pflanzenbauverbundbetriebe, Viehhaltungsverbundbetriebe und Pflanzenbau-Viehhaltungsbetriebe) in der Analyse berücksichtigt. In der Wiederkäuerhaltung wurde zusätzlich das Stallsystem (Anbindehaltung/Laufstall) untersucht.

Definition Technologieadoption

Pflanzenbau

Für die vorliegende Studie wurden Fragen zum Elektronikeinsatz aus den folgenden Betriebszweigen der Pflanzenproduktion ausgewertet: Ackerbau, Futterbau, Gemüsebau, Weinbau, Obstbau und Erdbeeranbau. Die Betriebszweige Hochstammobstbau und Strauchbeeren waren ebenfalls Bestandteil der Umfrage zum technischen Fortschritt, enthielten aber keine Fragen zum Elektronikeinsatz und sind folglich in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt.

Insgesamt wurden 827 Fragebögen aus dem Bereich Pflanzenproduktion ausgewertet, die die folgenden zwei Fragen enthielten: a.) Verwenden Sie eine der folgenden elektronischen Fahrerentlastungen/Assistenzsysteme (FAS)? und b.) Bei welchen der folgenden Tätigkeiten verwenden Sie elektronische Messsysteme (EMS) an den Maschinen? Die verschiedenen Antwortmöglichkeiten sowie die deskriptive Statistik sind in Tabelle 1 dargestellt. Für die Regressionsanalysen im Pflanzenbau wurden die Technologieanwender so definiert, dass sie mindestens eine der abgefragten Technologien auf dem Betrieb nutzen, unabhängig davon ob es sich dabei um eine FAS oder EMS Technologie handelte. Nicht-Anwender wurden so definiert, dass sie bei beiden Fragen «keine» als Antwortoption ausgewählt hatten.

Tierhaltung

In der Tierhaltung wurden Informationen zur Haltung von Milchkühen, Milchziegen, Mutterkühen, Mastrindern und Fleischschafen sowie zur Schweine- und Geflügelhaltung ausgewertet.

Aus der Tierhaltung konnten 1497 zurückgeschickte Fragebögen ausgewertet werden. In der Wiederkäuerhaltung wurde nach dem Einsatz von elektronischen Sen-

soren und Messeinrichtungen (ESM) gefragt, elektronischen Steuerungen (ES) mit zentralem PC sowie nach der Nutzung elektronischer Datenverarbeitung (EDV). Die Fragebögen zu Milchvieh und Mastrindern enthielten zusätzlich Fragen zum Einsatz von Robotik (Melkroboter, Futternachschieberoboter und Entmistungsroboter). Landwirte mit Zuchtschweinen und Mastschweinen wurden nach dem Einsatz von elektronischen Ohrmarken gefragt, Landwirte mit Legehennen und Masthähnchen nach der Nutzung eines Smartphones zur Stallüberwachung.

In der Tierhaltung wurden nur die Ergebnisse der Wiederkäufer für die Regressionsanalyse genutzt, da allen Wiederkäuferhaltern die gleichen Fragen gestellt wurden und in der Praxis ähnliche Haltungssysteme üblich sind. Die folgenden drei Kategorien wurden definiert: Anwender von neuen Technologien, Anwender in der Praxis bereits seit längerem implementierter/angekommener Technologien und Nicht-Anwender. Die Kategorie der bereits in der Praxis bewährten bzw. implementierten Technologien umfasste alle ESM, die basierend auf den Umfrageergebnissen von mindestens 10 % der befragten Landwirte eingesetzt wurden. Die Kategorie der neuen Technologien umfasste alle ESM, die von weniger als 10 % der befragten Landwirte eingesetzt wurden. Da Mehrfachnennungen möglich waren, konnten einzelne Landwirte in beiden Gruppen vorkommen. Die dritte Gruppe umfasste die Nicht-Anwender. Die Einordnung in der Wiederkäuferhaltung basiert nur auf den Antworten der ersten Frage zum Einsatz von ESM, da die Nutzung von ES und EDV auf deren Anwendung basiert.

Datenauswertung

Die Daten aus der Befragung wurden mit der Statistiksoftware R Version 3.5 ausgewertet (R Core Team, 2013). Für die Themenbereiche Pflanzenbau und Tierhaltung wurden jeweils separate Analysen durchgeführt. Mittels deskriptiver Statistik wurden Adoptionsraten der verschiedenen Technologien in den unterschiedlichen Betriebszweigen ermittelt. Um Korrelationen zwischen der Nutzung digitaler Technologien und Betriebs- und Betriebsleitercharakteristika zu ermitteln, wurden jeweils binäre logistische Regressionen verwendet, bei der die abhängige Variable für die Technologieanwender 1 und für die Nicht-Anwender 0 betrug. Die unabhängigen Variablen umfassten die zuvor beschriebenen Betriebs- und Betriebsleitercharakteristika. Die marginalen Effekte zeigen die Veränderung der Adoptionswahrscheinlichkeit aufgrund einer Veränderung der unabhängigen Variable um eine Einheit (z.B. eine Alterserhöhung um ein Jahr).

Resultate

Adoptionsraten im Pflanzenbau

In Tabelle 1 sind die Adoptionsraten der verschiedenen Einzeltechnologien für Fahrerassistenzsysteme (FAS) und Tätigkeiten, bei denen elektronische Messsysteme an den Maschinen (EMS) eingesetzt werden für jeden einzelnen Betriebszweig und über alle Betriebszweige insgesamt dargestellt. Der Tempomat war das am häufigsten genutzte Fahrerassistenzsystem, außer für Ackerkulturen, dort war die Adoptionsrate für Rückfahrkameras ähnlich hoch. Über alle Betriebszweige hinweg war die Einzelkornsaat und die Feuchtemessung des Erntegutes die häufigste Anwendung von EMS. Die Ergebnisse der Antwortmöglichkeit «Keine» machen deutlich, dass die Nutzung von FAS im Gemüsebau am höchsten ist, da es nur in diesem Betriebszweig mehr Anwender im Vergleich zu Nicht-Anwendern gibt.

Adoptionsraten in der Tierhaltung

Wiederkäufer

Tabelle 3 enthält eine Übersicht über die genutzten Technologien in der Schweizer Wiederkäuferhaltung. Im Betriebszweig Milchvieh nutzen vergleichsweise viele Betriebe elektronische Sensoren und Messeinrichtungen (ESM). Lediglich 33 % der Befragten in der Milchviehhaltung haben angegeben, dass keine Technologien eingesetzt werden. Generell wurden Technologien, die mit der Fütterung und dem Melkprozess in Verbindung stehen, am häufigsten genutzt während Technologien zur Krankheits- und Aktivitätserkennung bisher in der Praxis nur vereinzelt eingesetzt werden.

In der vorliegenden Stichprobe hielt der Grossteil der Wiederkäuferhalter die Tiere in Lauställen (n=561) und ein bedeutender Teil (n=157) hielt die Tiere in Anbindehaltung. Darüber hinaus haben 27 Betriebe beide Haltungsformen auf dem Betrieb.

Die Ergebnisse zum Einsatz von Robotik in der Schweizer Wiederkäuferhaltung sind in Tabelle 2 dargestellt. Melkroboter und Entmistungsroboter kamen häufiger zum Einsatz als Futternachschieberoboter.

Schweine und Geflügel

Die Fragebögen für die Betriebszweige Schweine (Mastschweine (n=154), Zuchtschweine (n=120)) und Geflügel (Legehennen (n=139), Mastpoulet (n=231)) enthielten keinen eigenen Themenbereich zum Elektronikeinsatz, sodass lediglich zwei Einzelfragen als Beispieltechnologien ausgewertet wurden. Schweinehalter wurden bezüglich ihres Einsatzes von elektronischen Ohrmarken

Tab. 1 | Adoptionsraten (%) von FAS und EMS in Schweizer Pflanzenbaubetrieben

Verwenden Sie eines der folgenden Fahrentlastungssysteme (FAS)? (n = 820)

Betriebszweig	Ackerbau	Futterbau	Gemüsebau	Weinbau	Obstbau	Erdbeeranbau	Alle Pflanzenbau- betriebe
	[%] (n = 148)	[%] (n = 235)	[%] (n = 97)	[%] (n = 166)	[%] (n = 105)	[%] (n = 69)	
Anwender	44	25	67	26	44	36	37
Nicht-Anwender («Keine»)	56	75	33	74	56	64	63
Tempomat	23	14	45	22	27	19	23
Rückfahrkamera	24	8	32	5	4	9	13
Vorgewendemanagement	11	6	26	na	na	6	11
Parallelfahrhilfe	11	6	28	na	na	9	11
Autom. Lenksysteme	16	1	33	3	16	7	10
Reihenführung	6	na	18	1	8	6	7
Autom. Datenerfassung	3	2	6	3	2	3	3
Datenübernahme in Schlagkartei	1	2	12	1	3	1	3
Schnittkantenerkennung	2	1	1	na	na	na	1
Andere	1	1	4	2	3	1	2

Bei welchen der folgenden Tätigkeiten verwenden Sie elektronische Messsysteme (z.B. N-Sensor, optische Pflanzenerkennung) an den Maschinen (EMS)? (n = 796)

Betriebszweig	Ackerbau	Futterbau	Gemüsebau	Weinbau	Obstbau	Erdbeeranbau	Alle Pflanzenbau- betriebe
	[%] (n = 140)	[%] (n = 231)	[%] (n = 93)	[%] (n = 165)	[%] (n = 102)	[%] (n = 65)	
Anwender	34	11	31	10	13	11	17
Nicht-Anwender («Keine»)	66	89	69	90	87	89	83
Einzelkornsaat	14	na	9	na	na	na	12
Feuchtemessung Erntegut	20	6	na	na	na	na	12
Nährstoffversorgung	9	4	9	3	4	9	6
Hacken	1	na	12	na	na	0	4
Bewässerung	1	0	9	1	8	9	3
Ertragsmessung	5	2	2	1	1	2	2
Unkrautererkennung	0	0	6	na	na	0	1
Andere	1	2	2	5	3	2	3

befragt, wobei 33 % der Zuchtschweinehalter und 4 % der Mastschweinehalter diese nutzten. In der Geflügelproduktion wurde ausgewertet, wie häufig ein Smartphone zur Stallüberwachung zum Einsatz kommt. In der Haltung von Leghennen nutzten 41 % ein Smartphone für solche Zwecke, im Betriebszweig Mastpoulet waren es 47 %.

Determinanten der Technologieadoption

Um Zusammenhänge zwischen den Betriebs- und Betriebsleitercharakteristika und der Nutzung digitaler Technologien in der Schweizer Landwirtschaft zu identifizieren, wurden jeweils separate Regressionsanalysen für den Bereich Pflanzenbau und Tierhaltung durchgeführt. Die signifikanten Ergebnisse sind in Tabelle 4

und 5 dargestellt. Im Pflanzenbau wurden verschiedene Modellspezifikationen hinsichtlich der verwendeten unabhängigen Variablen (Betriebs- und Betriebsleitercharakteristika) getestet, um die Robustheit der Ergebnisse zu bewerten. Die hier dargestellten Ergebnisse basieren auf dem vollständigen Satz von Variablen, wobei nur signifikante Variablen in den Tabellen aufgeführt wer-

Tab. 2 | Einsatz von Robotik

Betriebszweig	Milchkühe	Mastrinder
Melkroboter	6 % (n = 239)	na
Futternachschieberoboter	2 % (n = 248)	2 % (n = 199)
Entmistungsroboter	5 % (n = 135)	1 % (n = 138)

den. Die Effekte waren in allen getesteten Modellen vergleichbar und die Ergebnisse sind damit robust.

Auch in der Tierhaltung wurde in beiden Regressionsanalysen der vollständige Satz von Variablen im Modell berücksichtigt, wobei auch hier nur signifikante Variablen in den Tabellen gezeigt werden.

Pflanzenbau

Die Ergebnisse für den Pflanzenbau zeigen, dass weder die Anzahl an Grossvieheinheiten, das Alter, das Geschlecht, das Produktionssystem (biologisch oder konventionell), noch die Erwerbsform (Haupt- oder Nebenerwerb) signifikant mit der Adoption von digitalen

Tab. 3 | Adoptionsraten (%) von EMS und EDV in Schweizer Betrieben mit Wiederkäuerhaltung

Welche elektronischen Sensoren und Messeinrichtungen verwenden Sie (ESM)? (n = 805)

Betriebszweig	Milchkühe	Milchziegen	Mutterkühe	Mastrinder	Fleischschafe	Alle Wiederkäuerbetriebe
	[%] (n = 247)	[%] (n = 133)	[%] (n = 111)	[%] (n = 195)	[%] (n = 119)	
Anwender	68	31	16	29	28	30
Nicht-Anwender («Keine»)	32	69	84	71	72	70
Milchmengenmessung	45	9	na	na	na	32
Milchflussmessung	26	0	na	na	na	17
Transponderhalsband	26	0	2	14	na	14
Milchtemperaturmessung	16	8	na	na	na	13
Kraftfutteraufnahme	24	2	0	8	3	10
Kameramonitoring	11	1	7	8	10	8
Milchleitfähigkeitsmessung	12	0	na	na	na	8
Elektron. Wiegesysteme	6	1	5	9	3	5
Elektron. Ohrmarken	2	2	5	1	13	4
Aktivitätssensoren	6	0	0	2	1	3
Wiederkausensoren	4	0	0	1	na	2
Raufutteraufnahme	1	1	0	2	na	1
Tierortungssystem	1	0	1	1	2	1
Andere	2	3	4	3	3	3

Welche elektronischen Steuerungen (ES, mit zentralem PC) verwenden Sie? (n = 787)

Betriebszweig	Milchkühe	Milchziegen	Mutterkühe	Mastrinder	Fleischschafe	Alle Wiederkäuerbetriebe
	[%] (n = 237)	[%] (n = 131)	[%] (n = 107)	[%] (n = 194)	[%] (n = 118)	
Anwender	34	8	6	23	2	18
Nicht-Anwender («Keine»)	66	92	94	77	98	82
Kälbertränkeautomat	12	6	na	13	na	11
Selektionstore	5	0	1	3	na	3
Automatische Fütterungsanlage	3	2	2	3	na	3
Andere	2	2	2	2	1	2

Welche Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung nutzen Sie (EDV)? (n = 779)

Betriebszweig	Milchkühe	Milchziegen	Mutterkühe	Mastrinder	Fleischschafe	Alle Wiederkäuerbetriebe
	[%] (n = 237)	[%] (n = 128)	[%] (n = 106)	[%] (n = 190)	[%] (n = 118)	
Anwender	33	12	15	17	18	21
Nicht-Anwender («Keine»)	67	88	85	83	82	79
Kraftfütterzuteilung nach Milchmenge	21	2	na	na	na	15
Datenübernahme in Herdenmanagement	19	10	10	11	16	14
Brunsterkennung	10	0	1	na	na	5
Rationsplanung	6	2	4	6	2	5
Krankheitserkennung	4	1	1	3	0	2
Weidemanagement	1	1	2	1	1	1
Andere	3	0	2	3	0	2

Tab. 4 | Signifikante Ergebnisse der binären Regressionsanalyse im Pflanzenbau

	Digitale Technologien	
	Marginale Änderungen	SE
Zone [Tal]		
Bergzone	-0,15***	0,04
Landwirtschaftliche Fläche [10 bis 20 ha]		
1 ≤ 3 ha	-0,36***	0,00
30 ≤ 50 ha	0,20**	0,06
≥ 50 ha	0,48***	0,07
Betriebszweig [Ackerbau]		
Weinbau	-0,25***	0,02
Obstbau	-0,08*	0,04
Hauptbetriebstyp [Spezialisierte Ackerbaubetriebe] Spez. Dauerkulturbetriebe		
	0,26**	0,10

Signifikanzniveau: * $P \leq 0,10$; ** $P \leq 0,05$; *** $P \leq 0,01$, Basiskategorien in eckigen Klammern

Technologien im Pflanzenbau korreliert waren. Aus den in Tabelle 4 aufgeführten signifikanten Effekten wird ersichtlich, dass Bergbetriebe weniger wahrscheinlich digitale Technologien im Vergleich zu Talbetrieben nutzen. Ebenso ist es bei kleinen Betrieben unter drei Hektar sowie bei den Betriebszweigen Weinbau und Obstbau jeweils verglichen mit den jeweiligen Basiskategorien.

Tierhaltung

Da besonders Melktechnologien nicht neu auf dem Markt sind und häufig automatisch im Melkstand integriert sind, wurden die Technologien zur weiteren Analyse in implementierte und neue Technologien eingeteilt. Die Unterteilung wurde basierend auf einer 10 % Hürde definiert.

Das Produktionssystem (biologisch oder konventionell), die Erwerbsform (Haupt- oder Nebenerwerb) und die landwirtschaftliche Nutzfläche korrelierte nicht mit der Nutzung digitaler Technologien in der Wiederkäuerhaltung. Die Effekte für Geschlecht, Bergzone und Anbindehaltung war für beide Technologiegruppen gleich. Die detaillierten Ergebnisse der Effekte für alle in der Regressionsanalyse berücksichtigten und signifikanten Variablen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Diskussion

Die vorliegende Studie zeigt, dass es starke Unterschiede zwischen den Betriebszweigen hinsichtlich ihres Einsatzes von digitalen Hilfsmitteln gibt. Beispielsweise werden Fahrerassistenzsysteme (FAS) im Gemüsebau schon von etwa 70 % der befragten Landwirte einge-

setzt, wohingegen im Futterbau nur etwa 25 % diese Systeme nutzen. Ein ähnliches Bild zeigt sich im Bereich der Tierhaltung, wo vermehrt Technologien in der Milchviehhaltung im Vergleich zu den anderen Betriebszweigen eingesetzt werden. Hier kann auch die Anzahl der kommerziell verfügbaren Technologien eine Rolle spielen, die in diesem Betriebszweig vergleichsweise hoch ist (Stachowicz und Umstätter 2020). Möglicherweise begünstigen hohe Produktionswerte die Nutzung digitaler Technologien (Finger *et al.* 2019). Mit 1,1 Milliarden Schweizer Franken erwirtschaftet der Gemüsebau rund 14 % des gesamten Produktionswertes der Schweizer Landwirtschaft, deckt aber nur etwa 1 % der landwirtschaftlichen Fläche des Landes ab. Im Vergleich dazu ist der Produktionswert der Futterpflanzen (z.B. Grasland/Weide) mit 1 Milliarde Franken oder fast 10 % des gesamten Produktionswertes der Schweizer Landwirtschaft ähnlich hoch, wird aber etwa auf zwei Drittel der gesamten landwirtschaftlichen Fläche kultiviert (ASVP und AIS 2014; BFS 2017). Die Vorteile digitaler Technologien scheinen bei Kulturen mit hohem Produktionswert von grösserer Bedeutung, zum Beispiel bei Feldgemüsekulturen. In diesem Fall werden FAS und EMS häufiger eingesetzt als z.B. bei Acker- oder Futterpflanzen. Die Verluste durch kleine Fahrfehler oder Missmanagement spiegeln sich bei Spezialkulturen schnell in finanziellen Verlusten wider.

Auch der anfallende Arbeitsaufwand kann ein entscheidender Faktor im Adoptionsprozess sein. In Betriebszweigen mit einer hohen physischen Arbeitsbelastung werden die Vorteile der Nutzung schneller deutlich, sei es bei Feldarbeiten oder bei zwei- bis dreimal täglich wiederkehrenden Routineaufgaben wie Füttern oder Melken. Auch im Einsatz von elektronischen Ohrmarken als Beispieltechnologie in der Schweinehaltung wird dieser Trend ersichtlich. Deutlich mehr Landwirte verwendeten elektronische Ohrmarken für Zuchtschweine als für Mastschweine. Zuchtschweine sind sehr arbeitsintensiv und erfordern ein höheres Mass an Management beispielsweise durch eine tierindividuelle Futterzuteilung, während die Schweinemast weniger arbeitsintensiv ist. Hinzu kommt, dass Zuchtschweine eine längere Nutzungsdauer haben als Mastschweine, wodurch sich der Einsatz bei Zuchttieren auch finanziell womöglich mehr lohnt.

Der Einsatz von Robotik in der Schweizer Landwirtschaft beschränkt sich momentan auf den Bereich Milchvieh, allerdings ist die Adoptionsrate mit maximal 6 % auch noch recht gering. Barkema *et al.* (2015) untersuchten in einer vergleichenden Studie den weltweiten kommerziellen Einsatz von Melkrobotern. Ihre Ergebnisse

Tab. 5 | Signifikante Ergebnisse der Regressionsanalysen in der Tierhaltung

	Implementierte Technologien		Neue Technologien	
	Marginale Effekte	SE	Marginale Effekte	SE
Alter	-0,01	0	-0,03**	0,01
Grossvieheinheiten	0,05**	0,02	0,03*	0,01
Geschlecht [Mann]				
Frau	-0,08***	0	-0,08***	-0,02
Zone [Basiskategorie: Tal]				
Hügel	-0,03*	-0,01	-0,04	-0,03
Bergzone	-0,07*	-0,03	-0,09***	-0,01
Hauptbetriebstyp [Spezialisierte Wiederkäuerbetriebe]				
Spez. Ackerbaubetriebe	0,43**	-0,15	-0,10***	-0,01
Spez. Gartenbaubetriebe	-0,08***	0	-0,10***	-0,01
Spez. Dauerkulturbetriebe	-0,08***	0	-0,10***	-0,01
Spez. Veredelungsbetriebe	-0,08***	0	0,03	-0,31
Pflanzenbau-Viehhaltungsbetriebe	-0,09***	0	0,12	-0,16
Region [Espace Mittelland]				
Genferseeregion	-0,06*	-0,02	-0,02	-0,01
Nordwestschweiz	-0,04***	-0,01	-0,06***	-0,02
Zentralschweiz	-0,01	-0,01	-0,06**	-0,02
Tessin	-0,05***	-0,01	-0,06	-0,04
Betriebszweig [Milchvieh]				
Milchziegen	-0,10***	-0,01	-0,11***	-0,01
Mutterkühe	-0,16***	-0,01	-0,06***	-0,01
Mastrinder	-0,12***	-0,01	-0,06***	-0,01
Fleischschafe	-0,17***	-0,01	0,01	-0,01
Stallsystem [Laufstall]				
Anbindestall	-0,10***	-0,01	-0,10***	-0,01
Beides	-0,05***	-0,01	0,05	-0,03

Signifikanzniveau: *, $P \leq 0.10$; **, $P \leq 0.05$; ***, $P \leq 0.01$, Basiskategorien in eckigen Klammern

zeigten, dass der Einsatz von Melkrobotern zwischen 5 % in Kanada und über 20 % in Schweden und Dänemark variiert, damit liegt die Schweiz im internationalen Vergleich im unteren Bereich. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können weiter dafür genutzt werden, technologiespezifische Adoptionsraten verschiedener Länder zu vergleichen und die Schweizer Landwirtschaft hinsichtlich ihres Einsatzes von digitalen Hilfsmitteln einzuordnen.

Betriebs- und Betriebsleitereigenschaften, die mit der Adoption digitaler Technologien korrelieren, variieren in Abhängigkeit der untersuchten Technologien und – in unserer Studie – zwischen den Technologiegruppen. Während das Alter des Betriebsleiters in einigen Studien mit der Adoption korreliert, konnte in anderen Studien kein signifikanter Effekt festgestellt werden (Daberkow und McBride 2013; Lima *et al.* 2018). In unserer Studie war das Alter im Pflanzenbau kein wichtiger Faktor, wohingegen die Wahrscheinlichkeit der Adoption einer neuen Technologie in der Wiederkäuerhaltung mit zu-

nehmenden Alter sank. Darüber hinaus wird aus der Literatur deutlich, dass die Betriebsgrösse meist positiv mit der Nutzung von Technologien korreliert (Reichardt und Jürgens 2009; Gargiulo *et al.* 2018). Die vorliegende Studie konnte dies sowohl im Pflanzenbau (gemessen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche in ha) als auch in der Tierhaltung (gemessen an der Anzahl Grossvieheinheiten) für die Schweizer Landwirtschaft bestätigen. Zwar sind Schweizer Betriebe weltweit gesehen vergleichsweise klein, jedoch konnte auch hier eine Adoption in der oberen Betriebsgrößenverteilung festgestellt werden. In der Wiederkäuerhaltung konnte ausserdem ein signifikant negativer Effekt für das Haltungssystem Anbindehaltung festgestellt werden. Das Ergebnis verwundert nicht, da viele digitale Hilfsmittel wie Roboter oder Aktivitätssensoren in dieser Haltungsform keinen Nutzen bringen, da sich die Tiere nicht frei bewegen können. Die Studie ist im Hinblick auf ihre randomisierte Stichprobe einzigartig und deutlich aussagekräftiger als viele vorliegenden Studien in dem Themenbereich.

Beispielsweise basieren viele Studien auf freiwilligen Online-Befragungen, bei denen die Teilnehmer zum einen per se technikaffine Landwirte sind, die Computer und das Internet im Allgemeinen nutzen. Zum anderen bestehen meist keine Auswahlkriterien für die Stichprobe bezüglich der Grössenklassen, Betriebszweige etc. (Gargiulo *et al.* 2018). Ähnliches gilt für Umfrageergebnisse, die auf landwirtschaftlichen Messen durchgeführt werden (z.B. Reichardt und Jürgens 2009).

Schlussfolgerungen

Diese vorliegende Studie ergab, dass die Adoptionsrate der einzelnen landwirtschaftlichen Betriebszweige in der Schweiz sehr heterogen ist und es grosse Unterschiede zwischen verschiedenen Technologiearten gibt. Die Ergebnisse erlauben länderspezifische und technologie-spezifische Vergleiche mit anderen Studien und können

bei Wiederholung der Umfrage den technischen Fortschritt innerhalb der Schweizer Landwirtschaft sichtbar machen.

Die Ergebnisse können als Grundlage für die Entwicklung einer detaillierteren Umfrage dienen, die die Erwartungen sowie die persönlichen Gründe der Landwirte für und gegen digitale Technologien in der Schweizer Landwirtschaft einschliesst. Auf diese Weise könnten beispielsweise Arbeitsbereiche identifiziert werden, in denen neue Technologien einen Mehrwert bringen würden, um auch kleine Betriebe weniger arbeitsintensiv und effizienter zu führen. Auch der Zusammenhang zwischen agrarpolitischen Zielen im Bereich Umwelt, Betrieb und Markt und digitalen Technologien kann in weiterer Forschung thematisiert werden, um die Triebkräfte und Hindernisse der Nutzung der Digitalisierung im Agrarsektor zu verstehen. ■

Literatur

- Barkema H. W., von Keyserlingk M., Kastelic J., Lam T., Luby C., Roy J.-P., LeBlanc S., Keefe G. & Kelton D., 2015. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science* **98**, 7426–7445.
- Barnes A., Soto I., Eory V., Beck B., Balafoutis A., & Sánchez B. *et al.*, 2019. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy* **80**, 163–174.
- BFS, 2017. Land- und Forstwirtschaft: Panorama, Zugang: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/agriculture-forestry.assetdetail.7846585.html> [10.02.2020].
- BFS, 2018. Strassenfahrzeugbestand nach Fahrzeuggruppe und Fahrzeugart, Zugang: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassenfahrzeuge-bestand-motorisierungsgrad.assetdetail.7226314.html> [25.07.2019].
- BFS, 2019a. Landwirtschaftsbetriebe: Grösse, Fläche, Besitzverhältnisse, Zugang: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft.assetdetail.8346709.html> [07.01.2019].
- BFS, 2019b. Landwirtschaft und Ernährung: Taschenstatistik, Zugang: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/aktuell/neue-veroeffentlichungen.gnpdetail.2019-0344.html> [07.01.2019].
- BLW, 2018. Agrarbericht, Zugang: <https://www.agrarbericht.ch/de> [07.01.2019].
- Daberkow S. G., & McBride W. D., 2003. Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. *Precision Agriculture* **4** (2), 163–177.
- Ferjani A., Zimmermann A., & Roesch A., 2015. Determining factors of farm exit in agriculture in Switzerland. *Agricultural Economics Review* **16**, 59–72.
- 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**, 313–335.
- Gargiulo J. I., Eastwood C. R., Garcia S. C., & Lyons N. A., 2018. Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. *Journal of Dairy Science* **101**, 5466–5473.
- Gazzarin C., & Hilty R., 2002. Stallsysteme für Milchvieh: Vergleich der Bauinvestitionen. FAT-Berichte/Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, Switzerland.
- 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* (revised & resubmit).
- Konrad M. T., Nielsen H. Ø., Pedersen A. B. & Elofsson, K., 2019. Drivers of farmers' investments in nutrient abatement technologies in five Baltic Sea countries. *Ecological Economics* **159**, 91–100.
- Lima E., Hopkins T., Gurney E., Shortall O., Lovatt F., Davies P., Williamson G., & Kaler J., 2018. Drivers for precision livestock technology adoption: a study of factors associated with adoption of electronic identification technology by commercial sheep farmers in England and Wales. *PLoS One* **13** (1).
- Meijering A., Hogeveen H., & de Koning, C. J. A. M., (Eds.) 2004. Automatic milking: a better understanding. Wageningen Academic Pub.
- Paustian M., & Theuvsen L., 2017. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture* **18** (5), 701–716.
- Pierpaoli E., Carli G., Pignatti E. & Canavari M., 2013. Drivers of precision agriculture technologies adoption: A literature review. *Procedia Technology* **8**, 61–69.
- R Core Team 2013. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reichardt M., & Jürgens C., 2009. Adoption and future perspective of precision farming in Germany: Results of several surveys among different agricultural target groups. *Precision Agriculture* **10** (1), 73–94.
- Stachowicz J., & Umstätter C., 2020. Übersicht über kommerziell verfügbare digitale Systeme in der Nutztierhaltung, Zugang: <http://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/wirtschaft-technik/smart-farming/digitale-system-nutztierhaltung.html> [21.02.2020].
- Tey Y. S., & Brindal M., 2012. Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precision Agriculture* **13** (6), 713–730.
- VSGP, & LID (2014). Fakten zum Schweizer Gemüsebau, Zugang: https://www.gemuese.ch/Ressourcen/PDF/Politik/CHGemuesebau_BROSCHURELID.PDF [10.02.2020].
- Walter A., Finger R., Huber R., & Buchmann N., 2017. Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **114** (24), 6148–6150.
- Zorn A., 2020. Kennzahlen des Strukturwandels der Schweizer Landwirtschaft auf Basis einzelbetrieblicher Daten. *Agroscope Science* **88**.