

Innovationsreport

Beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft: Wozu und welche politischen Rahmenbedingungen sind wirksam bzw. erforderlich?



Foto: Agrotech Valley Forum e.V.

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung



EXPERIMENTIERFELD
AGRO-NORDWEST

Innovationsreport

Beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft: Wozu und welche politischen Rahmenbedingungen sind wirksam bzw. erforderlich?

Experimentierfeld Agro-Nordwest

Autor*innen

Dr. Siegfried Behrendt
Kathrin Gegner

s.behrendt@izt.de
k.gegner@izt.de

15. November 2022

IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
www.izt.de

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund: das Experimentierfeld Agro-Nordwest	4
2	Wo steht die Digitalisierung der Landwirtschaft heute?	6
3	Innovationshemmnisse und Risiken	8
3.1	Autonome Fütterung	8
3.2	Drohnen Daten für einen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz	9
3.3	Digitale Datenerfassung zur Optimierung der Prozesskette Zuckerrübe	10
3.4	Autonome Feldrobotik zur Unkrautregulierung	10
3.5	Drohnenbasierte Entscheidungsunterstützung im Klee grasmanagement	12
3.6	NIRS-Technologie in der teilflächenspezifischen Ausbringung organischer Düngemittel	12
3.7	Einsatz und Nutzen von Parallelfahrssystemen für kleine und mittlere landwirtschaftliche Betriebe	13
3.8	Überblick	14
4	Abbau von Innovationshemmnissen	15
4.1	Sichtbarmachung des betriebswirtschaftlichen Nutzens digitaler Applikationen	15
4.2	Belastbare Daten und Fakten über den Umwelt nutzen	16
4.3	Wirtschaftlichkeitsnachweise von Investitions- und Betriebskosten	17
4.4	Neue Qualifizierungsanforderungen	18
4.5	Rechtlicher Rahmen für Datensouveränität	18
4.6	Technische Zuverlässigkeit von Systemen und Datenarchitekturen	19
4.7	Kompatibilität von Maschinen, technischen Komponenten, Daten und Systemen	20
5	Übergreifende Fragestellungen zur Erschließung der Chancen digitaler Technologien in der Landwirtschaft	21
5.1	Welcher politischer Interventionen bedarf es, um digitale Technologien für eine nachhaltige Transformation der Landwirtschaft zu nutzen?	21
5.2	Wie können die (Einstiegs-)Hürden für kleinere und mittlere Betriebe abgebaut werden?	23
5.3	Wie müssten öffentliche Förderprogramme weiterentwickelt werden bzw. bedarf es neuer Förderinstrumente?	24
5.4	Wie kann die Markteinführung von Sprunginnovationen unterstützt und beschleunigt werden?	25
6	Fazit	26

1 Hintergrund: das Experimentierfeld Agro-Nordwest

Precision Farming, Smart Farming, Digital Farming und Landwirtschaft 4.0 fungieren als integrative Leitkonzepte für Forschung und Entwicklung und sind ein Entwicklungsschwerpunkt vieler Hersteller von Agrarmaschinen und -techniken. Gleichzeitig liefern die Leitbilder eine Orientierung für darauf ausgerichtete, innovationspolitische Aktivitäten, die ihren Ausdruck u.a. in den Experimentierfeldern zur Digitalisierung der Landwirtschaft finden (BMEL 2019). Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) fördert bundesweit 14 Experimentierfelder, die helfen sollen, digitale Technologien im Pflanzenbau und in der Tierhaltung zu erforschen und deren Eignung für die Praxis zu überprüfen, sodass sie optimal zum Schutz der Umwelt, Steigerung des Tierwohls und der Biodiversität sowie zur Arbeitserleichterung eingesetzt werden können. Im Rahmen des Experimentierfeldes „Agro-Nordwest“, an dem zahlreiche Forschungspartner und Betriebe entlang der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette beteiligt sind (www.agro-nordwest.de), führte das IZT eine Reihe von Workshops mit Wissenschaftlern¹, Landwirten, Verbandsvertretern, Landtechnikherstellern und Start-ups durch, die Nutzenpotenziale (für die Betriebe, aber auch für die natürliche Umwelt), die zu erwartenden Veränderungen (im Landwirtschaftssektor und in den mit ihm verbundenen Wirtschaftsbereichen) sowie auch mögliche Innovationshemmnisse und Risiken thematisieren.

¹ Ein Hinweis vorab: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.

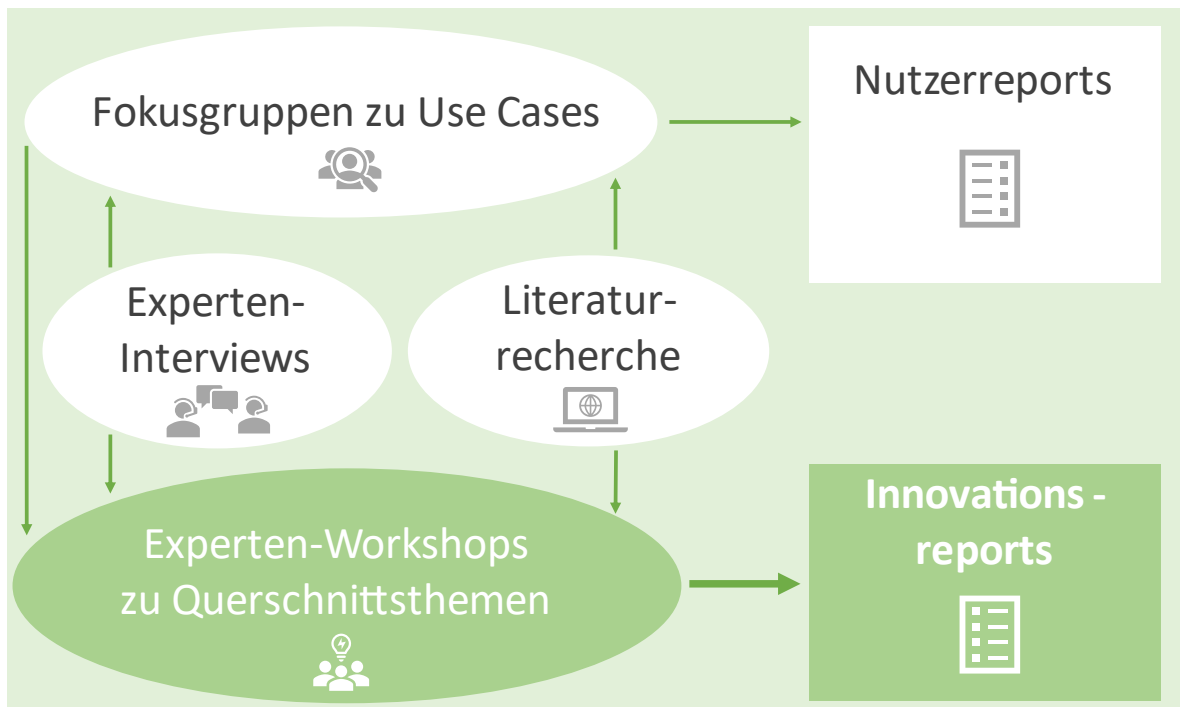
Abbildung 1: Themen der IZT-Workshopreihe im Projekt „Agro-Nordwest“ und Fokus dieses Innovationsreports

1.	Betrieblicher Nutzen smarter Landmaschinen, Software und Systeme: Welche Erwartungen und Erkenntnisse gibt es zum betrieblichen Mehrwert? Welchen Nutzen schätzen Landwirtschaftsbetriebe besonders?	
2.	Betriebliche Kosten und Wirtschaftlichkeit smarter Landmaschinen, Software und Systeme: Sind Investitionskosten eine zentrale Innovationshürde? Welche Rolle spielen Betriebskosten? Digitalisierung vor allem für große Landwirtschaftsbetriebe?	
3.	Ökologische Effekte smarter Landmaschinen, Software und Systeme: Erfüllen sich die Erwartungen? Gibt es nicht-intendierte Nebenfolgen?	
4.	Digitalisierte Landwirtschaft zwischen Dateneffizienz und Daten-Overload: Wie können Daten effizient und effektiv bereitgestellt und verwertet werden? Wie lassen sich Transparenz und Datensouveränität sichern?	
5.	Sicherheit und Kompatibilität smarter Landmaschinen, Software und Systeme: Welche neuen Sicherheitslösungen braucht es? Wie sind die derzeitigen Standardisierungsbemühungen zu bewerten und weiterzuentwickeln?	
6.	Neue Produktnutzungssysteme, Wirtschaftsakteure und Geschäftsmodelle im Umfeld einer digitalisierten Landwirtschaft: Wie verändern sich die Landwirtschaft und ihre Wertschöpfungskette? Entstehen neue Abhängigkeiten? Wie lässt sich Resilienz schaffen?	
7.	Zwischen Arbeitsplatzabbau und neuen, qualifizierten Arbeitsplätzen: Welche neuen Beschäftigungsprofile und Arbeitsbedingungen entstehen? Welche Handlungsbedarfe erwachsen?	
8.	Beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft: Wozu und welche politischen Rahmenbedingungen sind wirksam bzw. erforderlich?	

Quelle: IZT

Entlang der Workshopthemen wurden Ansätze identifiziert und diskutiert, wie Innovationshemmnisse abgebaut und Risiken minimiert werden können, um die Nutzenpotenziale der Digitalisierung der Landwirtschaft zu erschließen. Das Ergebnis sind Innovationsreports. Sie basieren auf Literaturanalysen und Expertengesprächen und spiegeln die Diskussionen auf den korrespondierenden Workshops wider.

Abbildung 2: Einordnung der Innovationsreports in die IZT-Forschungsformate im Projekt „Agro-Nordwest“



Quelle: IZT

Der vorliegende Innovationsreport befasst sich mit politischen Rahmenbedingungen, die es braucht, um die Chancen, die die Digitalisierung der Landwirtschaft bietet, zu stärken und deren Erschließung zu beschleunigen. Neben dem Abbau von Innovationshemmnissen, die in Bezug auf die Use Cases im Experimentierfeld Agro-Nordwest identifiziert wurden, werden übergreifende Fragen aufgeworfen. Diese sind:

- Welcher politischer Interventionen bedarf es, um die digitalen Technologien für eine nachhaltige Transformation der Landwirtschaft zu nutzen?
- Wie können die (Einstiegs-)Hürden für kleinere und mittlere Betriebe abgebaut werden?
- Wie müssten die bestehenden öffentlichen Förderprogramme weiterentwickelt werden bzw. bedarf es neuer Förderinstrumente?
- Wie kann die Markteinführung von Sprunginnovationen unterstützt und beschleunigt werden?

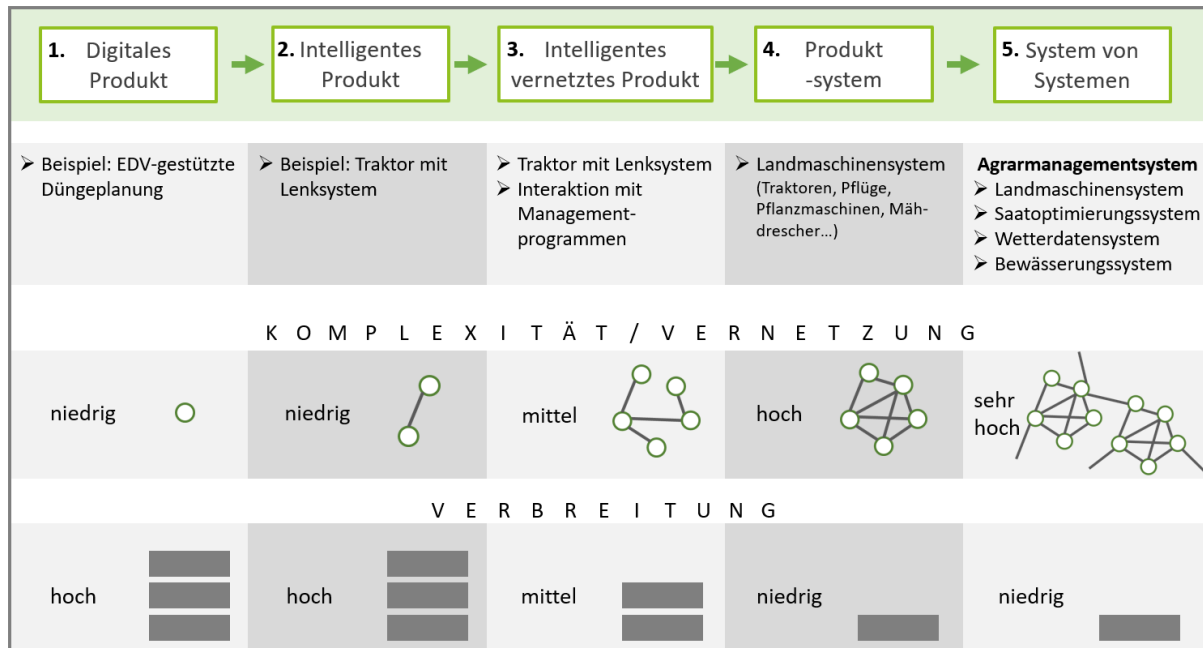
2 Wo steht die Digitalisierung der Landwirtschaft heute?

Nach Porter und Heppelmann können in der Landwirtschaft grundsätzlich verschiedene Stufen der Digitalisierung unterschieden werden:

Die erste Stufe umfasst die Verwendung nur eines einzelnen „digitalen“ Produktes (z. B. EDV-gestützte Düngeplanung). Die nächste Stufe beinhaltet die Nutzung smarter Produkte. Dies könnte zum Beispiel ein Schlepper mit verschiedenen digitalen Steuerungen sein. Auf dritter Stufe steht ein smart vernetztes Produkt. Hierbei wird der Schlepper mit Managementprogrammen vernetzt, die beispielsweise

verschiedene Daten empfangen und verarbeiten können. Stufe vier der Digitalisierung umfasst ein digital vernetztes Produktionssystem. Hierbei sind nicht nur einzelne Schlepper vernetzt, sondern auch die je nach Produktionssystem und Prozessen benötigten Geräte und Maschinen. Die höchste Stufe der Digitalisierung ist ein System von Systemen, wobei unterschiedliche Systeme miteinander kommunizieren (Internet of Things) (Porter und Heppelmann 2014, s. auch Gscheidle 2022).

Abbildung 3: Stufen der Digitalisierung der Landwirtschaft nach Porter und Heppelmann



Quelle: eigene Darstellung (Porter und Heppelmann 2014; Kehl et al. 2021; Gscheidle 2022)

Zur Frage, wo die Digitalisierung der Landwirtschaft heute steht, liegen mehrere Befragungen vor. Umfrageergebnisse zur Verbreitung von digitalen Technologien in bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben (Gabriel und Gandorfer 2020) zeigen, dass mehr als zwei Drittel der Befragten mindestens eine digitale Technologie auf dem eigenen Betrieb nutzen. So kommen bei vier von zehn Landwirten und Landwirtinnen Apps zur Wettervorhersage oder zur Schädlingsprognose zum Einsatz und knapp jeder vierte Befragte nutzt Online Handels- oder Kommunikationsplattformen. Investitionen in digitale Technologien im Ackerbau sind vor allem in den Bereichen digitale Ackerschlagkarteien/Farmmanagement-Informationssysteme, automatische Lenksysteme sowie GPS-gesteuerte Teilbreitenschaltung getätigt worden. Klassisches Precision Farming wie Teilflächenbewirtschaftung bei Düngung oder Pflanzenschutz liegen noch deutlich hinter den Erwartungen zurück. Laut einer Umfrage von BITKOM, an der 500 Landwirte und Landwirtinnen mit Betrieben ab 30 Hektar teilgenommen haben, kommen in Deutschland in acht von zehn landwirtschaftlichen Betrieben digitale Technologien oder Anwendungen zum Einsatz (Rohleder et al. 2020). Hierzu zählen Lenk- und Fahrerassistenzsysteme, vernetzte (Boden-)Sensoren, intelligente Datenmanagementsysteme, drohnenbasierte Bilderkennungssysteme, GPS-gesteuerte Agrarroboter oder Sensoren, die beispielsweise Tiergesundheitsdaten aus den Viehbeständen übermitteln. Mit einem Verbreitungsgrad von je 40 bis 45 Prozent sind GPS-gesteuerte Landmaschinen, Agrar-Apps sowie Farm- und Herdenmanagementsysteme am weitesten verbreitet. Jeweils rund 30 Prozent der Betriebe machen zudem Gebrauch von Methoden und Technologien zur teilflächenspezifischen Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln sowie von Sensortechnik im Pflanzenbau und in der Tierhaltung. Robotik, Drohnen und künstliche Intelligenz (KI) werden

hingegen nur von neun bis zwölf Prozent der Landwirte und Landwirtinnen genutzt. In weiteren zehn Prozent der landwirtschaftlichen Betriebe sind digitale Technologien und Anwendungen in Planung oder Diskussion. Grundsätzlich kommen digitale Tools mit zunehmender Betriebsgröße vermehrt zum Einsatz (Rohleder et al. 2020).

Bis dato zeichnen sich die digitalen Anwendungen durch eine verhältnismäßig einfache Handhabung sowie durch einen relativ geringen Vernetzungsgrad aus (d. h., sie kommen vor allem als Einzelsysteme zum Einsatz). Dazu gehören im Bereich des Pflanzenbaus Anwendungen der Präzisionslandwirtschaft (Precision Farming) wie satellitengestützte Navigations- und Assistenzsysteme, im Bereich der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung Sensorsysteme zur Gesundheits- und Verhaltensüberwachung sowie Automatisierungstechnologien wie Melk-, Fütterungs- und Reinigungsautomaten. Auch digitale Acker Schlagkarteien werden bereits von vielen Landwirten genutzt (Kehl et al. 2021, S. 15). Die umfassende Vernetzung landwirtschaftlicher Maschinen und Prozesse miteinander auf Betriebsebene und weit darüber hinaus – von Futtermittel- und Saatgutherstellung über den Anbau der landwirtschaftlichen Erzeugnisse bis hin zu Lebensmittelverarbeitung und Einzelhandel – ist bis dato nur in Ansätzen realisiert und rudimentär verbreitet (Kehl et al. 2021, S. 215–216).

3 Innovationshemmnisse und Risiken

Im Experimentierfeld Agro-Nordwest wurden neueste Agrartechnologien zur Prozessautomatisierung und -optimierung für unterschiedliche Anwendungen, so genannte Use Cases, im praktischen Einsatz erprobt. Die Umsetzung und Verbreitung stößt auf Innovationshemmnisse und wirft außerdem Fragen nach möglichen Risiken und unerwünschten Nebenfolgen der Digitalisierung der Landwirtschaft auf. Für die im Experimentierfeld Agro-Nordwest verfolgten Use Cases wurden folgende Innovationshemmnisse und Risiken identifiziert.

3.1 Autonome Fütterung

Nutzungsszenario

Im Rahmen des Use Cases Fütterung wird ein autonomes System, welches den vollständigen Fütterungsprozess landwirtschaftlicher Betriebe in der Rinderhaltung abdeckt (autonomer Futtermischwagen), unter verschiedenen Rahmenbedingungen erprobt und evaluiert. Eingesetzt wird der Futtermischwagen Verti-Q der Firma Strautmann, welches das bestehende Modell Verti-Mix SF mit Hardware- und Softwarebausteinen zur intelligenten Steuerung erweitert, um alle Arbeitsprozesse (Futtermischwagenaufnahme, Transport und Futtermischwagenabgabe) autonom durchführen zu lassen. Die erwarteten Vorteile des Einsatzes eines autonomen Futtermischwagens liegen im Bereich der Arbeitserleichterung und Flexibilisierung der Arbeit, da das autonome System klare Vorgaben und Anweisungen gibt und so Betriebsleiter die Arbeitsprozesse weniger selbst überwachen müssen. Zusätzlich wird die Einarbeitungszeit neuer Mitarbeiter verringert. Des Weiteren kann die Futterzusammensetzung optimiert und der Anfall von Futterresten reduziert werden (Henseling et al. 2022b).

Innovationshemmnisse und Risiken

Für Landwirte besteht ein wirtschaftliches Risiko in den hohen Investitionskosten beim Kauf eines autonomen Futtermischwagens. Außerdem geben Landwirte an, dass mangelnde Kompatibilität und Schnittstellen zu bereits genutzter Farmsoftware bzw. Programmen zum Management der Innen- und Außenwirtschaft Probleme darstellen. Aus Sicht der Landwirte stellt auch das Ausfallrisiko der autonomen Technik ein wichtiges Hemmnis in der Verbreitung der Technologie dar. Ein Totalausfall der Technik muss kurzfristig durch eine alternative Lösung ersetzt werden können. Landwirte müssen daher aktuell immer noch eine manuelle Backup-Variante zur Fütterung vorhalten. Erst wenn ein flächendeckender Wartungs- und Reparaturservice (rund um die Uhr) gegeben ist, werden die technischen Risiken für den Landwirt kalkulier- und handhabbar. Des Weiteren bestehen Unsicherheiten über die geltenden Sicherheitsbestimmungen. Fragen der Haftung und nötigen Sicherheitsauflagen für den Einsatz eines autonomen Fütterungsroboters sind bislang unzureichend geklärt (Henseling et al. 2022b).

3.2 Drohnendaten für einen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz

Nutzungsszenario

Die Nutzung von Drohnendaten für einen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz stellt einen (im Rahmen des Experimentierfelds Agro-Nordwest untersuchten) Anwendungsfall der Präzisionslandwirtschaft dar, der mit Hilfe digitaler Technologien eine ortsdifferenzierte und zielgerichtete Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen ermöglichen kann. Die Kernidee des Anwendungsfalls besteht darin, Pflanzenschutzmittel räumlich differenziert – auf Grundlage von Drohnen-Befliegungsdaten – und lokal konzentriert nach Bedarf und Notwendigkeit einzusetzen (Spot Spraying).

Mittels an Drohnen befestigten Kamerasystemen werden bei Feldüberfliegungen Bilddaten zur Identifizierung von Unkrautnestern in einer Maiskultur aufgenommen. Anschließend erfolgt eine automatisierte Klassifikation der Bilddaten und die Übersetzung der Informationen (zur Lokalisierung der Beikrautnester) in eine maschinenlesbare Applikationskarte. Mit Hilfe einer für Spot Spraying geeigneten Anbaufeldspritze kann das Pflanzenschutzmittel spezifisch auf den Teilflächen mit Unkrautnestern ausgebracht werden.

Innovationshemmnisse und Risiken

Während Drohnen in der Landwirtschaft bereits Einsatz finden, zum Beispiel zur Ausbringung von Nützlingen, stellt die Unkrautkartierung mit Drohnenbefliegungsdaten einen neuen Anwendungsfall dar. Für die Verbreitung der Anwendung wird in den nächsten fünf Jahren ein langsames Wachstum und anschließend eine dynamische Entwicklung erwartet. Weiterentwicklungsbedarf sehen potenzielle Anwender in der Verkürzung von Bearbeitungszeiträumen zur Erstellung von Applikationskarten. Landwirte und Lohnunternehmer verweisen hierbei auf Situationen, bei denen der Pflanzenschutz möglichst zeitnah erfolgen muss, um Schäden an der Kulturpflanze (wie Pilzkrankheiten) zu verhindern. In einer Befragung von potenziellen Nutzern dieser Technologie äußerten die Teilnehmenden Unsicherheiten in Bezug auf die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Systems. Eine einheitliche bzw. zertifizierte Einschätzung dieses Verfahrens ist aktuell noch nicht vorhanden. Rechtliche Unsicherheiten bestehen aus Sicht der (potenziellen) Anwender bei Drohnenbefliegungen in der Nähe von Wohnsiedlungen und damit in Zusammenhang stehenden möglichen Problematiken wie Beschwerden von Spaziergängern etc. (Henseling und Neumann 2022).

3.3 Digitale Datenerfassung zur Optimierung der Prozesskette Zuckerrübe

Nutzungsszenario

Im Rahmen des Use Cases zur Zuckerrübe im Experimentierfeld Agro-Nordwest sollen möglichst umfangreich Daten gesammelt werden, um diese für die Prozessoptimierung bei der Rübenernte zu nutzen und Planungsgrundlagen zur Optimierung der Prozesskette (zum Beispiel bei der Erntelogistik) zu schaffen.

Über den normalen Arbeitseinsatz hinaus soll die geschaffene Datengrundlage (Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit, Kraftstoffverbrauch etc.) für zukünftige Teil- und Gesamtprozesssimulationen genutzt werden. Weiters werden am Markt verfügbare Ortungs- und Datenübertragungssysteme getestet und verglichen. Eine umfassende Datenaufzeichnung während der Durchführung verschiedener Arbeitsschritte dient als Grundlage zur Erstellung und Weiterentwicklung eines Simulationsmodells, das wiederum die betrachteten Prozesse hinsichtlich ökonomischer Kriterien optimieren soll. Ein zentraler Teil der Verfahrenskette ist der Ernteprozess. Werden Fahrspuren und Ausschlusszonen bereits bei der Rübenaussaat vorausgeplant und Mietenstandorte² frühzeitig abgestimmt, kann dies Stillstandszeiten von Maschinen reduzieren, Leerfahrten verhindern und insgesamt das Flottenmanagement verbessern.

Möglichst genaue Ertragsprognosen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle in den Planungen der Akteure (Abfuhrunternehmen, Zuckerunternehmen etc.). Zur Bestandserfassung und Erstellung einer Ertragsprognose wird eine Vielzahl an Schlag- und Bestandsdaten erhoben und ausgewertet (Stickstoffindex, Biomasse, Feldaufgang, Schlaggeometrie etc.) (Henseling und Gegner 2022).

Innovationshemmnisse und Risiken

Befragte Landwirte und Lohnunternehmer sehen ein zentrales Defizit für die Nutzung digitaler Tools in der mangelnden Kompatibilität der verschiedenen digitalen Systeme. Jede Zuckerfabrik nutze ihr eigenes System für die Ernte- und Abfuhrplanung, es gebe aber keine Schnittstelle, um die Daten, die bereits in einem System eingegeben wurden, in ein anderes zu übertragen oder die Systeme miteinander zu verbinden. Aus Datenschutz- sowie Wettbewerbsgründen besteht (so die Vermutung der Praktiker) kein Interesse hier Schnittstellen zu schaffen (Henseling und Gegner 2022).

Teilweise herrscht bei Praxisakteuren Unsicherheit, wem welche generierten Daten gehören und ob sensible Daten wie vorzeitige Ertragsschätzungen auch ausreichend geschützt würden. Auch bei der digitalen Ausstattung von LKWs und Ladefahrzeugen wird unter Umständen die Gefahr der Überwachung der Fahrenden gesehen (Henseling und Gegner 2022).

3.4 Autonome Feldrobotik zur Unkrautregulierung

Nutzungsszenario

Die autonome Feldrobotik hat das Potenzial, durch immer genauer arbeitende Sensoren zur Pflanzenerkennung, Echtzeitverarbeitung von Daten durch Algorithmen und zunehmend sichere Aktorik eine

² Eine Zuckerrübenmiete bezeichnet die Zwischenlagerung der geernteten Rüben in Form eines Haufwerks am Feldrand.

effektive, mechanische Unkrautregulierung zu ermöglichen. Als kommerzielle Systeme werden im Experimentierfeld die Systeme von K.U.L.T. und Naïo Technologies in verschiedenen Größen (die Modelle Oz und Dino) auf landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt und entsprechend evaluiert. Des Weiteren wird der noch nicht am Markt erhältliche Feldroboter BoniRob eingesetzt und erprobt. Hierzu werden State-of-the-Art Unkrautregulierungssysteme (Traktor-Implement-Kombinationen) mit Feldrobotik-Prozesstechnologien und -verfahren verglichen. Dabei werden auch adaptive Übergangsszenarien von der Automatisierung zur Autonomie (kamerabasierte Reihenführung etc.) integriert.

Im Nutzungsszenario wird eine Umstellung der Produktionsprozesse auf eine mechanische Unkrautbekämpfung mit Hilfe von kleineren, autonom agierenden Feldrobotern angenommen. Roboter (oder mehrere im Schwarm) fahren autonom und vernetzt über das Feld und erfassen mit entsprechender Sensorik Bilddaten zur Lokalisierung und Unterscheidung von Kulturpflanzen und Unkräutern. Die generierten Bildinformationen werden entweder von einer Fachperson begutachtet (oder in einer späteren Entwicklungsphase) von einem selbstlernenden System interpretiert. Auf Basis der Datenauswertung werden im nächsten Prozessschritt die lokalisierten Unkräuter mechanisch beseitigt.

Bislang bewegt sich die autonome Feldrobotik zur Unkrautregulierung in einer Marktnische. Ein Einsatz von Feldrobotern ist gegenüber chemischen Unkrautvernichtungsverfahren in vielen Bereichen noch nicht wettbewerbsfähig. Eine zentrale Voraussetzung, damit sich die Technologie durchsetzen kann, ist die Kompatibilität mit digitalen Lösungen verschiedener Anbieter. Die Verbreitung von autonomen Feldrobotern hängt wesentlich auch davon ab, wie sie sich in bestehende Pflanzenbausysteme integrieren lassen. Im Praxiseinsatz stellen „schwierige“ Feldbedingungen wie Hanglagen und Steine im Acker noch Hürden für einen störungsfreien Einsatz der autonomen Feldrobotik dar. Aus Anwendersicht spielt eine technische Weiterentwicklung für einen zuverlässigen Einsatz der Feldroboter sowie eine einfache Bedienbarkeit eine wichtige Rolle in der zukünftigen Verbreitung. Weiterhin sind die rechtlichen Rahmenbedingungen ein bestimmender Faktor. Der momentan unklare rechtliche Rahmen wird als zentrales Hemmnis in der Technologieverbreitung gesehen. Hersteller und Anwender erhoffen sich klare rechtliche Grundlagen unter anderem im Bereich Haftung bei Unfällen sowie autonomen Fahrten auf öffentlichen Wegen.

Bis dato werden autonome Feldroboter auf spezialisierten Betrieben des Anbaus von Sonderkulturen (z.B. Gemüse- und Obstanbau) genutzt, erprobt und weiterentwickelt. Hier wird eine frühe Verbreitung der Feldrobotik erwartet. Getrieben wird das Interesse an der autonomen Feldrobotik bei potenziellen Anwendern unter anderem durch Mangel an (Saison-)Arbeitskräften sowie eine erwartete hohe Qualität des Arbeitsergebnisses. Als interessant wird die autonome Feldrobotik deshalb auch in der ökologischen Landwirtschaft gesehen (Henseling et al. 2022c).

Innovationshemmnisse und Risiken

Bislang bewegt sich die autonome Feldrobotik zur Unkrautregulierung in einer Marktnische. Ein Einsatz von Feldrobotern ist gegenüber chemischen Unkrautvernichtungsverfahren in vielen Bereichen noch nicht wettbewerbsfähig. Eine zentrale Voraussetzung, damit sich die Technologie durchsetzen kann, ist die Kompatibilität mit digitalen Lösungen verschiedener Anbieter. Die Verbreitung von autonomen Feldrobotern hängt wesentlich auch davon ab, wie sie sich in bestehende Pflanzenbausysteme integrieren lassen. Im Praxiseinsatz stellen „schwierige“ Feldbedingungen wie Hanglagen und Steine im Acker noch Hürden für einen störungsfreien Einsatz der autonomen Feldrobotik dar. Aus Anwendersicht spielt eine technische Weiterentwicklung für einen zuverlässigen Einsatz der Feldroboter sowie

eine einfache Bedienbarkeit eine wichtige Rolle in der zukünftigen Verbreitung. Weiterhin sind die rechtlichen Rahmenbedingungen ein bestimmender Faktor. Der momentan unklare rechtliche Rahmen zum Robotereinsatz auf dem Feld wird als zentrales Hemmnis in der Technologieverbreitung gesehen. Hersteller und Anwender erhoffen sich klare rechtliche Grundlagen unter anderem im Bereich der Haftung bei Unfallschäden sowie im Bereich der autonomen Fahrten auf öffentlichen Wegen.

3.5 Drohnenbasierte Entscheidungsunterstützung im Klee grasmanagement

Nutzungsszenario

Im Zentrum dieses Anwendungsfalls der digitalisierten Landwirtschaft steht die Erfassung der räumlichen Verteilung von Klee und Gras im Feld und der Nutzbarmachung dieser Information zur Optimierung der Bewirtschaftung. Hierfür werden zuerst Pflanzenparameter (Klee-/Grasverteilung, Bestands höhe, Biomasse) und Bodenparameter anhand exemplarischer Beprobungsflächen im Feld aufgenommen, um die Bestandseigenschaften möglichst repräsentativ abzubilden. Eine drohnen datenbasierte Modellierung der Bestandsstruktur (zu unterschiedlichen Zeitpunkten) kann als Entscheidungsunterstützung für verschiedene Aspekte im Klee grasmanagement eingesetzt werden, z.B. Düngung, Mahdtermin, Mahdfrequenz oder Planung der Folgekultur. Aktuell ist diese Technologie damit vor allem für das Futtermanagement bzw. die Futteroptimierung von Interesse.

Innovationshemmnisse und Risiken

Wie für viele Anwendungsfälle digitaler Technologien in der Landwirtschaft ist die Kompatibilität ein zentrales Hemmnis. Eine dringende Anforderung der Nutzenden ist es, kompatible Datenformate zu erhalten, um weitere teilflächenspezifische Anwendungen in die Kulturpflege mit einbeziehen zu können (Henseling et al. 2022a). Für die weitere Verbreitung der Technologie ist die Klärung rechtlicher Unsicherheiten unerlässlich. In einer Befragung von Landwirten äußerten diese, dass sie sich einheitliche Regelungen für einen Drohnenführerschein bzw. zur Flugerlaubnis wünschen. Damit verbunden muss auch festgelegt werden wo geflogen werden darf (öffentliche Feldwege), in welcher Flughöhe etc. (Henseling et al. 2022a). Weitere Verbote von Pestiziden in der EU könnten die Landwirte zu neuen Kulturmaßnahmen bewegen und die Entwicklung und Etablierung neuer Technologien anstoßen. Ähnlich könnte eine Auflage zur Reduktion der Düngemengen wirken und die Verbreitung der drohnenbasierten Entscheidungsunterstützung im Klee grasmanagement fördern, da die benötigten Düngemengen in Klee gras-Kulturen mit bis zu 350 Kilogramm synthetischem Dünger pro Hektar (DLG o.J.) aktuell sehr hoch sind.

3.6 NIRS-Technologie in der teilflächenspezifischen Ausbringung organischer Düngemittel

Nutzungsszenario

Bei der teilflächenspezifischen Gülleapplikation handelt es sich um einen Anwendungsfall der Präzisionslandwirtschaft zur Ausbringung organischer Düngemittel. Zur Anwendung kommen Sensoren am Güllefass, die durch das indirekte Messverfahren der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) den Stickstoffgehalt (sowie weitere Nährstoffgehalte wie Phosphor und Kalium) der Gülle, bei der Befüllung des

Fasses sowie bei der Ausbringung des organischen Düngers, messen. Durch die Messung der Düngerelementzusammensetzung und die genaue Kartierung von Düngebedarfen auf der Ackerfläche (abhängig von Pflanzenbedarf und Bodenverhältnissen sowie dem Vorkommen von roten/nicht roten Gebieten) in Applikationskarten kann eine möglichst optimale Passung für die Nährstoffapplikation ermittelt und die Ausbringmengeneinstellung vorgenommen werden. Nach gegenwärtigem Stand der Technik, kann der Nährstoffgehalt der Gülle während der Befüllung des Güllefasses gemessen und anhand des durchschnittlichen Stickstoffgehalts sowie eines Stickstoffsollwerts die Ausbringmenge festgelegt werden. Ebenso möglich ist die Nährstoffmessung während der Gülleausbringung, die retrospektive Daten über die tatsächlich ausgebrachten Nährstoffmengen liefert (Henseling und Willim 2022).

Innovationshemmnisse und Risiken

Die im Projekt durchgeführten Interviews sowie die Ergebnisse einer Fokusgruppe weisen darauf hin, dass die Zuverlässigkeit der NIRS-Technologie in der Nährstoffbestimmung noch nicht vollständig gegeben ist. Bei den Sensormesswerten werden hohe Schwankungsbreiten festgestellt sowie mangelnde Übereinstimmungen mit den Ergebnissen aus den Laboranalysen. Trotzdem ist die NIRS-Technologie zur Messung der Nährstoffströme am Güllefass bereits am Markt verfügbar, aber noch wenig verbreitet. Lohnunternehmer sind noch zögerlich in der Anschaffung von NIRS-Sensoren für die Gülleausbringung, da seitens der auftraggebenden Landwirte die Bereitschaft, einen Aufpreis für den zusätzlichen Technikeinsatz zu zahlen, eher gering verbreitet ist. Geschätzt wird ein gegenwärtiger Anteil von eingesetzten Güllefässern mit NIRS-Technologie von unter fünf Prozent. Befragte Landwirte und Lohnunternehmer schätzen für die zukünftige Entwicklung eine weite bis sehr weite Verbreitung der Technologie in 10 Jahren, unter der Voraussetzung grundsätzlicher Verbesserungen in der Messgenauigkeit (Henseling und Willim 2022).

3.7 Einsatz und Nutzen von Parallelfahrssystemen für kleine und mittlere landwirtschaftliche Betriebe

Nutzungsszenario

Zur Optimierung der Feldbefahrungen bieten verschiedene Hersteller Parallelfahrssysteme für Traktoren an. Die Lösungen reichen von einfacheren Lenkhilfen, die eine optimale Fahrspur am Display anzeigen, bis hin zu Lenkassistenten und Lenkautomaten, die den Lenkvorgang selbsttätig übernehmen. Parallelfahrssysteme sind schon heute weit verbreitet am Markt. Wesentliche Vorteile aus Anwendersicht liegen hierbei in der Arbeitserleichterung durch eine geringere erforderliche Konzentrationsleistung zum exakten Halten der Fahrspur und insbesondere in der Vereinfachung der Wendemanöver. Vorteilhaft sind auch das qualitativ hochwertige Arbeitsergebnis (hohe Präzision) sowie die Betriebsmitteleinsparungen (Saatgut, Dünger, Kraftstoff) durch eine Verringerung von Überlappungsbereichen. Des Weiteren ermöglichen automatische Lenksysteme die Anwendung bestimmter Bearbeitungsstrategien wie des Controlled Traffic Farming, bei dem die Fahrspuren einmal festgelegt und dann beibehalten werden (Gegner und Henseling 2022).

Innovationshemmnisse und Risiken

Während ein Komfortgewinn deutlich erkennbar ist, sind die ökonomischen Vorteile aus Anwendersicht schwer zu kalkulieren. Bei größeren Betrieben könne eine gute Wirtschaftlichkeit eher erreicht

werden als bei kleineren. Besonders für kleinere und mittlere Betriebe stellen die unter Umständen hohen Anschaffungskosten eine Hürde dar. Mögliche Betriebsmitteleinsparungen durch Nutzung von Parallelfahrssystemen allein oder in Kombination mit Teilbreitenschaltung (Section Control) sind erkennbar, aber für Anwender nicht direkt in einer Kosten-Nutzen-Rechnung quantifizierbar. Landwirte und Lohnunternehmer schätzen die Präzision und die hohe Qualität des Arbeitsergebnisses, berichten aber auch von Problemen mit Signalabbrüchen aufgrund von unzureichender Mobilfunkabdeckung oder Abschattungen des Satellitensignals an Waldrändern. Wie häufig es zu Problemen kommt, hängt stark von den örtlichen Begebenheiten ab. Lösungen der Hersteller zur Überbrückung von Signalausfällen werden von befragten Landwirten und Lohnunternehmern unterschiedlich bewertet. Während bei einigen Systemen etwa 20 Minuten ohne Signal überbrückt werden können (sog. Bridging), werden auch Erfahrungen beschrieben, bei denen Maschinen bei Signalabbruch abschalten oder Signalverluste den Fahrenden nicht deutlich gemacht werden, sodass Befahrungsergebnisse unpräzise werden. Anwender berichten von mangelnder Bedienfreundlichkeit, aufgrund derer vorhandene Lenkassistenzsysteme nicht vollumfänglich genutzt werden. Einige vorhandene Funktionen sind beispielsweise den Fahrenden gar nicht bekannt und auch nicht intuitiv zugänglich. Für die zukünftige Entwicklung der Systeme wünschen sich Anwender die Kompatibilität der Software verschiedener Hersteller zur einfachen Übertragung der Daten – zum Beispiel auf Farmmanagementsysteme. Probleme treten bisher insbesondere auf, wenn unterschiedliche Systeme, beispielsweise von Landwirtschaftsbetrieb und beauftragtem Lohnunternehmen, im Einsatz sind (Gegner und Henseling 2022).

3.8 Überblick

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über Innovationshemmnisse und Risiken bei der Erschließung der Potenziale verschiedener digitaler Anwendungen:

Digitale Anwendungen	Innovationshemmnisse und Risiken
Autonome Fütterung	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlende Schnittstellenkompatibilität • Unklare Sicherheitsbestimmungen und Haftungsregeln • Hohe Investitionskosten • Technisches Ausfallrisiko
Drohnen für einen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Bearbeitungszeiten zur Erstellung der Applikationskarten • Rechtliche Unsicherheiten der Drohnennutzung in der Landwirtschaft (Wohngebiete, öffentliche Feldwege, Versicherung etc.) • Unklare Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Technologie/Zweifel an der Genauigkeit in der Unkrauterkenntnis aus Sicht (potenzieller) Anwender
Prozesskette Zuckerrübe	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Software-Kompatibilität • Unsicherheiten über Datenhoheit und Schutz sensibler Daten
Autonome Feldrobotik zur Unkrautregulierung	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Kompatibilität von Software bzw. Hardware (-komponenten) • Rechtliche Unsicherheiten, insbesondere im Bereich Haftung und Beaufsichtigungspflicht

	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Wettbewerbsfähigkeit gegenüber chemischer Unkrautregulierung • Probleme bei der technischen Zuverlässigkeit (Störungen) • Mangelnde Infrastrukturvoraussetzungen (Mobilfunkabdeckung)
Drohnen­daten zur Entscheidungs­unterstützung im Klee­gras­management	<ul style="list-style-type: none"> • Rechtliche Unsicherheiten der Drohnennutzung in der Landwirtschaft (Wohngebiete, öffentliche Feldwege, Versicherung etc.) • Mangelnde Kompatibilität der Datenformate
NIRS-Technologie in der teilflächenspezifischen Ausbringung organischer Düngemittel	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Zuverlässigkeit der NIRS-Messungen, u.a. bedingt durch Defizite bei den Datenbanken der Hersteller zur Sensor-Kalibrierung (zu seltene Updates, keine Datenbanken für bestimmte Güllearten) • Mangel an unabhängigen Kontrollen, starke Herstellermacht (bei Datenbanken etc.) • Keine Anerkennung der NIRS-Messungen bei den Düngehörden der meisten Bundesländer; unklare Haftungsregeln bei Fehlfunktion der Sensoren
Parallelfahrssysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastrukturdefizite (keine flächendeckende Mobilfunkabdeckung) • Hohe Anschaffungskosten, insbesondere für Lenkautomaten; ökonomischer Nutzen schwer zu kalkulieren • Mangelnde Bedienfreundlichkeit der automatischen Lenksysteme • Mangelnde Software-Kompatibilitäten (bei Übertragung auf Farmmanagementsysteme etc.)

4 Abbau von Innovationshemmnissen

Im Rahmen der Workshop-Serie wurden Ansätze und Maßnahmen identifiziert, wie verschiedene Innovationshemmnisse abgebaut werden können.

4.1 Sichtbarmachung des betriebswirtschaftlichen Nutzens digitaler Applikationen

Der betriebswirtschaftliche Nutzen der Digitalisierung für die landwirtschaftlichen Betriebe ist vielfach nicht ersichtlich. Einerseits wird der erwartete oder ggf. nachgewiesene Nutzen sowohl von der Wissenschaft als auch von den Landwirten erwartet bzw. gesehen. Diese Erwartung ist, mithilfe der Digitalisierung die komplexen landwirtschaftlichen Prozesse besser steuern und Betriebsabläufe so effizienter und ressourcenschonender gestalten zu können. Andererseits ist es aber äußerst schwierig, den in Einzelfällen aufgezeigten betrieblichen, agrarstrukturellen oder ökologischen Nutzen zu quantifizieren oder gar zu verallgemeinern. Dies wird durch die Ergebnisse der durchgeführten Workshops bestätigt.

Ansätze und Maßnahmen

Die zahlreichen Forschungs- und Demonstrationsprojekte liefern einen relevanten Beitrag, den möglichen Nutzen digitaler Agrartechnologien in diversen landwirtschaftlichen Anwendungsbereichen (Use Cases) aufzuzeigen. Sie können als Anstoß für sich selbst verstärkende Dynamiken in Forschung und Entwicklung sowie auf den Märkten angesehen werden. Insgesamt betrachtet sind aktuell aber noch viele Fragen zum betrieblichen Nutzen nicht oder nicht hinreichend belastbar beantwortet. Nicht nur die Art des betrieblichen Nutzens ist dabei für die Landwirte von bedeutendem Interesse (z.B. Kostenreduktion, mengenmäßige Ertragssteigerung, erhöhte Flexibilität, Arbeitserleichterungen oder auch kontinuierliche Qualität in der Produktion, bessere Qualität der landwirtschaftlichen Produkte). Es sind auch die konkreten Anwendungsfälle (z.B. welche Feldfrüchte und welche landwirtschaftlichen Aktivitäten: Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Bewässerung, Ernte etc.) und die betrieblichen Umstände (z.B. welche Ackerflächengröße bzw. Betriebsgröße ist erforderlich bzw. optimal), die maßgeblich mitbestimmen, ob und inwieweit sich ein betrieblicher Nutzen einstellt. Auch diese Informationen sind für die Landwirtschaftsbetriebe hoch relevant – und ihre Vermittlung ist folglich ein Erfolgsfaktor für eine beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft, unter denen sich dieser Nutzen entfaltet. Für einen verstärkten Einsatz digitaler Anwendungen in der Landwirtschaft ist nicht nur entscheidend, welchen Nutzen diese Anwendungen stiften, sondern wie die Landwirte diesen Nutzen wahrnehmen und einschätzen. Daher gilt: Auf welche Art und Weise sich der betriebliche Nutzen digitaler Landmaschinen, Software und Systeme niederschlägt, bedarf nicht nur einer ausgeweiteten und vertieften Untersuchung, sondern auch einer noch deutlicheren, aus der Perspektive der Landwirtschaftsbetriebe geführten Vermittlung bzw. Kommunikation. Hier bietet sich eine „Peer-to-Peer“-Kommunikation (Landwirtschaftsbetrieb zu Landwirtschaftsbetrieb) an, die auf erfolgreiche Beispiele verweist – und auch zu vermeidende Fehler nicht ausspart. Peer-to-Peer Netzwerke von Landwirten bieten die Chance Erkenntnisse und Erfahrungen im Bereich der Wirtschaftlichkeit digitaler Tools zu teilen und zu verbreiten. Das Vertrauen der landwirtschaftlichen Akteure untereinander ist meist hoch.

4.2 Belastbare Daten und Fakten über den Umweltnutzen

Belastbare Daten und Fakten über den Umweltnutzen der Digitalisierung der Landwirtschaft liegen bis dato kaum vor. Die Umweltwirkungen digitaler Technologien in der Landwirtschaft sind von komplexen Zusammenhängen abhängig. Sie werden u.a. von den spezifischen Eigenschaften jeder einzelnen digitalen Technologie und den konkreten Ausgestaltungen ihrer Nutzung sowie den naturräumlichen bzw. produktionstechnischen Bedingungen ihres Einsatzes beeinflusst (Kehl et al. 2021). Ob die jeweiligen Anwendungen tatsächlich zu ökoeffizienteren oder umweltentlastenden Lösungen führen (können), ist immer im Einzelfall genau zu prüfen. Ebenso sind systemische Effekte sowie Rebound-Effekte kaum analysiert. Die Risiken beziehen sich auf Befürchtungen über eine weiter voranschreitende Reduktion der Biodiversität, auf mögliche negative Auswirkungen auf Bodenstrukturen und Bodenfruchtbarkeit sowie auf mögliche negative Auswirkungen auf die Ressourcen- und Ökobilanz.

Ansätze und Maßnahmen

Um diese Wissensdefizite zu beheben und somit zu einer fundierteren Einschätzung des ökologischen Nutzens digitaler Agrartechnologien zu kommen, sind gezielte systematische Forschungsanstrengungen erforderlich. Forschungsaufgaben sind:

- Repräsentative Untersuchungen zur Wirkung von Digitaltechnologien in der Pflanzenproduktion unter Praxisbedingungen: Es sind mehrjährige Versuchsserien notwendig, die neben der Verallgemeinerbarkeit auch vergleichende Aussagen zu unterschiedlichen Wirkungen in Abhängigkeit von verschiedenen betrieblichen Bedingungen ermöglichen. Umweltschonungseffekte müssten stärker dokumentiert und kommuniziert werden.
- Monitoring der Auswirkungen auf betrieblicher Ebene: Zur Erfassung agrarbetrieblicher und agrarstruktureller Veränderungen sollten repräsentative Betriebe mit unterschiedlicher Nutzung digitaler Technologien über einen längeren Zeitraum einem Monitoring unterzogen werden. Relevante Indikatoren sind u.a. Effizienz, Produktionsstrukturen, Wirtschaftlichkeit und Betriebsentwicklung.
- Forschung zu systemaren Folgewirkungen und Rebound-Effekten: Eine realistische Einschätzung der Umweltentlastungseffekte setzt voraus, dass Systembetrachtungen sowohl auf der betrieblichen und sektoralen als auch auf der Makroebene angestellt werden (Kehl et al. 2021).

4.3 Wirtschaftlichkeitsnachweise von Investitions- und Betriebskosten

Die betrieblichen Kosten der Digitalisierung der Landwirtschaft variieren je nach Anwendungsfall (d.h. für welche landwirtschaftlichen Tätigkeiten soll die digitale Anwendung eingesetzt werden) und auch entsprechend dem Anspruch an die Leistungsfähigkeit der digitalen Anwendungen (z.B. Präzisionsgrad bei Karten und Steuerungs- bzw. Lenkungssystemen). So lange nicht klar ist, dass sich die Investition langfristig amortisieren wird, stellt der Kauf für die Agrarbetriebe und Lohnunternehmer ein (schwer zu kalkulierendes) Risiko dar (Henseling et al. 2022b). Vor allem die kleineren landwirtschaftlichen Betriebe sehen sich durch die Digitalisierung vor große Herausforderungen gestellt. Die Anschaffung digitaler Ausstattung lohnt sich oft erst ab einer bestimmten Betriebsgröße, sodass kleinere und mittlere Betriebe tendenziell Schwierigkeiten haben, die potenziellen wirtschaftlichen Vorteile der Digitalisierung zu nutzen.

Ansätze und Maßnahmen

Weil Wirtschaftlichkeitsnachweise aktuell noch in vielen Fällen zu fehlen scheinen, scheint der Fokus seitens der Landwirte relativ stark auf den Kosten zu liegen. In solchen Fällen erscheinen mehr, überzeugende und anschaulich sowie zielgruppengerecht aufbereitete „Wirtschaftlichkeitsbelege“ eher eine Akzeptanzsteigerung seitens der Landwirte mit sich zu bringen als eine Kostenreduktion (z.B. mittels Fördergeldern). Mehr objektive Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen digitaler Technologien werden benötigt, um Landwirte den potenziellen Mehrwert aufzuzeigen. Hinzu kommt auch, dass die (heterogene) Gruppe der Landwirte in unterschiedlicher Weise mit dem Thema Kosten umgeht – und es Teilgruppen gibt, die aus einer grundsätzlichen Skepsis prinzipiell stärker die Kosten in den Vordergrund stellen. Vor diesem Hintergrund wären Kostenreduktionen mithilfe von Förderprogrammen (die es teilweise schon gibt) möglicherweise wirksamer, um Diffusionshemmnisse zu beseitigen. Entscheidend sind hierbei letztendlich die konkreten Förderkonditionen (Fördergegenstand, Höhe der Förderung, Beantragungsprozesse, Nachweispflichten).

4.4 Neue Qualifizierungsanforderungen

Eine weitere Hürde für die Nutzung und Etablierung neuer Technologien und Anwendungen besteht darin, dass mit der Digitalisierung (völlig) neue Qualifizierungsanforderungen einhergehen. Dies gilt gerade für kleinere Betriebe und Nebenerwerbsbetriebe. Erforderlich ist nicht nur der sichere Umgang mit den neuen Technologien, sondern vor allem auch die Fähigkeit, die anfallenden Daten kompetent zu managen (Kehl et al. 2021, S. 217). Besonders innovative Anwendungen oder solche, „die eine hohe Bedien- und Datenkompetenz erfordern, beispielsweise Sensor- und Mappingverfahren für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Agrarrobotik, Drohnenanwendungen, Farmmanagementsysteme sind laut den vorliegenden Daten in der landwirtschaftlichen Praxis bislang wenig verbreitet“ (Kehl et al. 2021, S. 216). Dies verdeutlicht, dass die neuen Qualifikationsanforderungen eine bedeutende Rolle bei der Etablierung der Technologien einnehmen – vor allem bei komplexen Systemen und Anwendungen.

Ansätze und Maßnahmen

Die hohe Präzision, die die teilflächenspezifische Landwirtschaft verspricht, kann nur erreicht werden, wenn die Landwirte über entsprechendes Wissen zur Anwendung der (Präzisions-)Technologien verfügen. Auf dem Workshop zum Themenkomplex „Neue Qualifizierungsanforderungen“ wurde betont, dass der Aus- und Weiterbildung sowie der Beratung hier eine zentrale Rolle zur Unterstützung der landwirtschaftlichen Betriebe zukommt.

- **Ausbildung:** Handlungsbedarf wurde bei der Förderung von Bildungseinrichtungen für den Erwerb von Digitalkompetenzen an Berufsschulen, Hochschulen etc. diagnostiziert. Die Hauptaufgaben liegen hier in der Vermittlung qualitativ hochwertiger und aktueller Unterrichtsinhalte (train the trainer) und der Förderung von neuen Unterrichtsformaten, z.B. adaptive E-Learningmodule, wie sie zur Sensorik in der Landwirtschaft im Rahmen des Experimentierfeldes Agro-Nordwest entwickelt wurden. Dieses Online Lehr- und Lernmodul („SensX“) dient Landwirtschaftsstudierenden zur Schließung von Wissenslücken im Bereich der Sensorik. Bedarf gibt es auch bei der Entwicklung neuer Studiengänge, die interdisziplinäre Anforderungen der Präzisionslandwirtschaft berücksichtigen.
- **Weiterbildung:** Es bedarf der stärkeren und zielgerichteten Förderung von Bildungseinrichtungen für Landwirtschaftsbetriebe zur Vermittlung von Digitalkompetenzen (u.a. geförderte Kurse, anerkannte Zertifikate).
- **Beratung:** Handlungsbedarf existiert bei der Förderung von Beratungen durch unabhängige, anerkannte Fachpersonen, der Zertifizierung von Beratern und einer behördlich anerkannten Beraterliste, z.B. für geförderte Beratungen (analog zum Energiebereich).

4.5 Rechtlicher Rahmen für Datensouveränität

Bei der Frage, wem die Hoheit über die auf landwirtschaftlichen Betrieben gesammelten Daten zusteht, besteht Unsicherheit bei Landwirten. Dies beeinflusst die Akzeptanz neuer digitaler Technologien und ihrer Vernetzung in der Landwirtschaft. Viele Landwirte haben die Sorge,

... dass sie in vernetzten Systemen die Rechte an ihren eigenen betrieblichen Daten verlieren und damit Dritte mit ihren Daten wirtschaftliche Vorteile bzw. Gewinne erwirtschaften könnten, ohne

dass sie selbst daran beteiligt werden. Eine Regelung ist bislang nur über vertragliche Vereinbarungen zwischen den beteiligten Parteien möglich. Viele vertragliche Formulierungen sind hinsichtlich der Verwendungszwecke der gesammelten nicht personenbezogenen Daten so vage gehalten (wie eine Analyse der Farmmanagementsysteme gezeigt hat), dass schwer zu beurteilen ist, was mit den Daten geschieht. (Kehl et al. 2021, S. 220–221)

Bisher gibt es keine zivilrechtlichen Bestimmungen bezüglich des Dateneigentums und wer welchen Nutzen aus Daten ziehen darf. Weder das Eigentumsrecht, das Immaterialgüterrecht noch der Schutz von Datenbanken oder die Datenschutzgrundverordnung schützen landwirtschaftlich erhobene Daten. Grund hierfür ist, dass es sich bei der beiläufig entstehenden ungeordneten Ansammlung an Rohdaten weder um persönliche, materielle, noch kompensationsbedürftige Daten oder persönliche geistige Schöpfungen handelt.

Ansätze und Maßnahmen

Farmmanagement- und informationssysteme (FMIS) auf landwirtschaftlichen Betrieben und in Zusammenarbeit der Betriebe mit Lohnunternehmen sollten so gestaltet sein, dass einfach einstellbar und ersichtlich ist, welche Personen- und Nutzergruppen Zugang zu welchen Daten und Informationen haben. Einzelne Bundesländer beginnen bereits den Aufbau digitaler Datenplattformen (Beispiel Bayerischer Agrardatenraum), welche zugleich als Informations-, Melde-, Dokumentations- und Antragsplattformen dienen sollen. Zugleich sollen die Plattformen einen höchstmöglichen Datenschutz gewährleisten und für eine Entlastung der Landwirte hinsichtlich bürokratischer Arbeit sorgen. Auch auf Bundesebene wird die Planung einer umfassenden Datenplattform für die Landwirtschaft angestrebt, die auch mit der geplanten Europäischen Dateninfrastruktur (GAIA-X) gekoppelt werden soll. Mit dem Data Act plant die EU-Kommission umfassende Regeln für eine faire und innovative Datenwirtschaft. Hierzu soll die geplante EU-Verordnung insbesondere festlegen, wer in der EU erzeugte nicht personenbezogene Daten wirtschaftlich nutzen darf und darauf Zugriff hat. Als Baustein des neuen Daten- und Cybersicherheitsrechts der EU wird der Data Act erhebliche Auswirkungen auf die wirtschaftliche Nutzung von Daten (Hessel 2022) auch für Unternehmen im Agrarsektor haben. Aus Sicht der Landwirtschaftsbetriebe sind bei der Gestaltung des rechtlichen Rahmens mehrere Anforderungen zu berücksichtigen:

- Datenhoheit: Wer darf Daten nutzen? In welchem Nutzungszeitraum? In welchem Kontext und für welche Zwecke?
- Transparenz: Welche Informationen werden gespeichert und verwendet? Wie und wofür werden diese Daten gespeichert und verwendet? Wozu genau wurde die „Zustimmung zur Datennutzung“ gegeben?
- Kompatibilität und Konnektivität der Systeme und Daten: Verschiedene Systeme sollten kompatibel nutzbar sein, was eine „digitale Durchgängigkeit“ der Daten und die Möglichkeit, die Daten für unterschiedliche Zwecke und dauerhaft/langfristig zu nutzen, einschließt.

Zur Orientierung werden juristisch abgesicherte Musterverträge, die auf dem EU-Data Act basieren, als hilfreich für Landwirte angesehen.

4.6 Technische Zuverlässigkeit von Systemen und Datenarchitekturen

Ein diffusionsrelevanter Faktor liegt auf der Ebene der technischen Zuverlässigkeit. Durch die Entwicklung und den Einsatz neuer Technologien stellen sich Fragen nach der Zuverlässigkeit innerhalb und

zwischen technischen Systemen und Datenarchitekturen. Für die Betriebs- und Prozesssicherheit müssen Abläufe friktionslos und planbar sein. Speziell autonom agierende Landmaschinen können bei Fehlfunktion ein Risiko für die Sicherheit von Menschen darstellen. Die Betriebs- und Prozesssicherheit digitaler Anwendungen (z.B. autonomer Feldrobotersysteme) ist abhängig von stabilen und zuverlässigen Datenströmen, von Störquellen und dem Datenmanagement bei heterogenen Datenquellen (z.B. Landmaschinen verschiedener Hersteller). Gerade in Hinblick auf die Qualität von (Echtzeit-)Daten ist es entscheidend, inwiefern Daten zuverlässig erhoben, (maschinen-)gelesen und prozessiert werden können. Dazu muss insbesondere eine flächendeckende Breitbandversorgung etabliert sein, um eine ausreichende Internetverbindung für den landwirtschaftlichen Raum zu ermöglichen. Durch die kommunikationstechnisch nach außen hin offenen Systeme stellen sich neue Sicherheitsrisiken für landwirtschaftliche Betriebe. Risiken stellen z.B. Hackerangriffe dar.

Ansätze und Maßnahmen

Eine störungsfreie digitalbasierte Steuerung und Navigation von Agrartechnologien benötigt zuverlässige Sensordatenfusion in Echtzeit unter Berücksichtigung von Störquellen (Staub, Feuchtigkeit, Vibrationen, etc.). Dies gilt besonders für vernetzte autonome Systeme (wie z.B. die autonome Feldrobotik). Hier bedarf es Rückfallebenen, die beim Ausfall eine manuelle Steuerung ermöglichen. Sicherheitssteuerungen, die anhand zusätzlicher Sensorik mögliche Gefährdungen detektieren, sind für einen sicheren Betrieb notwendig. Benötigt wird außerdem eine zuverlässige Funkverbindung sowohl zwischen den vernetzten Landmaschinen untereinander als auch zu übergeordneten Informations- und Steuerungsebenen (Rechner, Onlineservice etc.). Die Politik ist hier gefordert eine flächendeckende Breitbandversorgung für den Mobilfunk zu gewährleisten. Das Potenzial vieler digitaler Agrartechnologien kann zudem erst ausgeschöpft werden, wenn die Systeme „nachgewiesenermaßen“ technisch verlässlich funktionieren. Hier sind Zertifizierungslösungen wichtig, die bestätigen, dass technische Anforderungen an die Funktionsfähigkeit und Robustheit der eingesetzten Agrartechnologien bzw. Systeme erfüllt werden. Dies betrifft insbesondere den Aspekt der Haftung für Sach- oder Personenschäden infolge von Betriebsstörungen oder Havarien. Die Sicherheit spielt bei autonomen Systemen eine herausragende Rolle. Bezüglich der Haftungsfragen (so u.a. für autonome Feldroboter) bestehen noch erhebliche Unsicherheiten, die eine weitere Entwicklung auf Seiten der Landwirte hemmen dürften, autonome Systeme im Regelbetrieb von landwirtschaftlichen Betrieben einzusetzen. Daher sind Ansätze zu entwickeln, die diesen Unsicherheiten begegnen können (z.B. Versicherungslösungen, TÜV-Zulassung, Entwicklung von Sicherheitskonzepten für autonome Systeme basierend auf ISO 25119).

4.7 Kompatibilität von Maschinen, technischen Komponenten, Daten und Systemen

Aus Anwendersicht ist die Kompatibilität eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung digitaler Agrartechnologien. Sie ist ein Hemmnis, wenn sie fehlt. Umgekehrt wird sie als Funktionsmehrwert wahrgenommen, wenn sie gegeben ist. Die Entwicklung, die Effizienz und der Wirkungsgrad digitaler Technologien zeichnet sich unter anderem durch die Vernetzung von Maschinen, technischen Komponenten, Daten und Systemen aus. Mitunter kann das Problem auftreten, dass einzelne Geräte für sich fehlerfrei sind, jedoch in Kombination nicht funktionieren. Daten werden mit sehr unterschiedlichen Techniken und von unterschiedlichen Unternehmen erfasst. Zwar kann eine große Anzahl an Daten (Big Data) mittlerweile erfasst werden, jedoch liegen diese in sehr heterogenen Formaten vor. Die Komplexität

der Digitalisierung kann zunehmend nur schwer von einzelnen Betrieben abgedeckt werden. Die Abgabe bestimmter Leistungen an Partnerunternehmen wird dadurch notwendig. Die Entwicklung von Standardschnittstellen für eine problemlose Datenübertragung zwischen Maschinen, technischen Einrichtungen, Datenanbietern und Datenmanagementsystemen ist daher von zentraler Relevanz. Dies gilt insbesondere auch für die Entwicklung von Anwendungen zur Auswertung und Weiterverwendung großer Datenmengen (Big Data).

Ansätze und Maßnahmen

Zur Kompatibilität von Geräten und Maschinen einerseits und übergeordneten Informations- und Steuerungsinstanzen andererseits bedarf es der Entwicklung einheitlicher anbieter- und systemübergreifender Schnittstellen. Dabei sind Datenaustauschplattformen von zunehmender Bedeutung. Vorteile von Datenaustauschplattformen sind aus Sicht von Landwirten, Lohnunternehmern und Organisationen des Agrarsektors u.a. Aufbau neuer Geschäftsmodelle, einheitliche Nutzersprache, Minimierung von Schnittstellen und Informationszuwachs für Produktionsplanung und -steuerung. Als Nachteile werden Entwicklung- und Unterhaltungskosten, branchenübergreifender Konkurrenzdruck, kontinuierliche Überarbeitung der Software und Datenschutz genannt. Anforderungen an Datenaustauschplattformen sind Verbleib der Daten in Deutschland, Verfügungsrechte (Zustimmung von Landwirten), Bedienerfreundlichkeit und cloudbasierte Anwendungen.

5 Übergreifende Fragestellungen zur Erschließung der Chancen digitaler Technologien in der Landwirtschaft

5.1 Welcher politischer Interventionen bedarf es, um digitale Technologien für eine nachhaltige Transformation der Landwirtschaft zu nutzen?

Der betriebliche Nutzen wird entscheidend durch die Rahmenbedingungen beeinflusst, unter denen die Landwirtschaftsbetriebe tätig sind. Im tiefgreifend staatlich regulierten Landwirtschaftssektor (EU-Landwirtschaftspolitik und ihre Umsetzung auf nationaler Ebene) sind es u.a. die Subventionsvoraussetzungen bzw. -anforderungen an die Landwirtschaftsbetriebe, der Preisdruck auf den (staatlich beeinflussten) Märkten, aber auch die Umweltauflagen an die Landwirtschaft (z.B. mittels begrenzter Ausbringungsmengen an Düngemitteln einschließlich ihrem Nachweis gegenüber den Behörden, aber auch dem Verbot von Substanzen zum Pflanzenschutz). Ein Beispiel sind die Beschränkungen und Dokumentationsanforderungen zur Ausbringung von Gülle, die einen Bedarf an effizienten und belastbaren, anerkannten digitalen Ausbringungsnachweisen hervorgerufen haben. Hier können digitale Anwendungen (Stichwort: NIRS-Technologie) eine deutliche Entlastung für die Landwirtschaftsbetriebe mit sich bringen – vorausgesetzt, dass die Technik und die generierten Daten den behördlichen Anforderungen entsprechen (was aktuell noch nicht flächendeckend gegeben ist). Dass der betriebliche Nutzen für Landwirtschaftsbetriebe nachweisbar und gut erkennbar ist, stellt einen, wenn nicht sogar DEN wesentlichen Erfolgsfaktor für eine beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft dar. Viele der, im Rahmen des Experimentierfelds Agro-Nordwest vom IZT durchgeführten, Interviews und Workshops gehen Fragen nach, die letztendlich dazu beitragen, dass

ein betrieblicher Nutzen gewährleistet werden kann. Dazu gehören Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Kosten-Nutzen-Relationen), technische Voraussetzungen wie Kompatibilität bzw. Konnektivität von Hard- und Software, rechtliche Rahmenbedingungen zu Fragen der Datenhoheit oder auch die Erfolgsbedingungen zur Etablierung neuer Geschäftsmodelle in einer digitalisierten Landwirtschaft und nicht zuletzt auch die Anforderungen an die Beschäftigten in den Landwirtschaftsbetrieben. Festzustellen ist dabei auch, dass Landwirtschaftsbetriebe auch zunehmend an einer ökologischen Wirtschaftsweise interessiert sind. Diese Entwicklung ist u.a. durch die gesamtgesellschaftliche Erwartungshaltung bedingt, die sich (teilweise) auch bei den landwirtschaftlichen Abnehmern niederschlägt. Einen Agrarstrukturwandel wird die Digitalisierung der Landwirtschaft aber alleine, aus heutiger Sicht, weder auslösen noch wesentlich beschleunigen (Gotsch et al. 2020, S. 33). Entscheidend sind politische Interventionen, die eine „Agrarwende“ einleiten bzw. forcieren. Dazu hat die Zukunftskommission Landwirtschaft jüngst erste Entwicklungspfade beschrieben, in denen sich die Transformation bewegen müsste (Zukunftskommission Landwirtschaft 2021). Demzufolge müsste das Agrar- und Ernährungssystem so angelegt sein, „dass die Steigerung der positiven Wirkungen und die Vermeidung schädlicher Effekte auf Klima, Umwelt, Biodiversität, Tierwohl und menschliche Gesundheit im unternehmerischen Interesse der landwirtschaftlichen Produzent:innen liegen können“ (Zukunftskommission Landwirtschaft 2021, S. 4). Digitalisierung ist dabei für alle landwirtschaftlichen Produktionsweisen relevant, sowohl für konventionelle als auch integrierte, agrarökologische und biologische. Für die konventionelle Produktionsweise, weil digitale Agrartechnologien (im Zusammenspiel mit anderen Maßnahmen) dazu beitragen können, die Stoff- und Nährstoffeinträge zu reduzieren, um sich tendenziell einem nachhaltigen Niveau zu nähern. Bei integrierten, agrarökologischen und biologischen Produktionsweisen können digitale Agrartechnologien helfen, die Produktivität und den Ertrag zu steigern, oder umgekehrt formuliert, die Ertragsschwäche zu reduzieren.

Bis dato fällt auf, dass die Wahrnehmung ökologischer Potenziale der Digitalisierung „überproportional von den beiden Transformationskonzepten klimasmarte Landwirtschaft und nachhaltige Intensivierung geprägt“ wird, während „agrarökologische Konzepte wie Polykulturen, Agroforstsysteme oder Permakultur-Prinzipien nur bedingt Eingang in die Entwicklung digitaler Tools“ finden (Kliem et al. 2022, S. 58). Damit, so stellen Kliem et al. (2022) fest, bildet die Digitalisierung der Landwirtschaft nur einen Teil der möglichen Transformationspfade ab. Demgegenüber steht die Möglichkeit, die Entwicklung von Technologien gezielt an den agrarökologischen Transformationskonzepten auszurichten, die dem Umfang der ökologischen Herausforderungen angemessener sind und die langfristige Resilienz von Agrarsystemen fördern (Kliem et al. 2022). Großes ungenutztes Potenzial besteht beispielsweise im Bereich der Komplexität und Diversität von Anbausystemen. Hier könnte die Digitalisierung einen entscheidenden Beitrag leisten. Jedoch müssen die Potenziale sowohl von der Politik und Gesellschaft als auch von anderen Akteuren wie Landwirten, Ingenieuren oder Naturschützern erkannt und für eine praktische Biodiversitäts- und Ökosystemleistungserhaltung ausgebaut und kombiniert werden, damit biodiversitätsfördernde Methoden im Agrarbereich weitreichend umgesetzt werden können. Die Entwicklung und der Einsatz von Feldrobotern, Sensoren, FMIS, DSS und anderen Technologien müssen dafür auf diverse Polykulturen hin ausgerichtet werden. Digitalisierung kann besonders in den Arbeitsschritten Fruchtfolge- und Anbauplanung, Bodenbearbeitung und Aussaat, Düngemittelapplikation, Pflanzenschutz, Bewässerung sowie Ernte zu der Vermeidung von negativen Umwelteffekten beitragen (Lieder 2022). Für die Gestaltung der Digitalisierung in der Landwirtschaft ist daher eine Technologie- und Innovationspolitik entscheidend, die eine umweltgerechte Antwort auf die Frage gibt, wer welche Technik zu welchem Zweck entwickelt und entsprechende Anreize setzt. Natur- und

Umweltschutz sind neben der Ertragssteigerung als Optimierungsziel zu definieren und in datenbasierte Technologien, durch den Hersteller, aber auch durch die Regulierungsbehörden, zu integrieren (Benning 2020; BUND 2019; Zscheischler et al. 2021). Zu schaffen sind konkrete Anreize zum Schutz von Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen, um die Umwelt- und Naturschutzpotenziale einer digitalisierten Landwirtschaft auszuschöpfen (Kliem et al. 2022). Eine technologiepolitische Strategie, die auf die Bereitstellung von öffentlichen Dateninfrastrukturen abzielt, wird mit Projekten wie der GeoBox, Agri-Gaia oder dem Agri-food Data Portal der EU verfolgt. Datenverarbeitende Plattformen und Clouds können dabei als Teil der sektoralen Infrastruktur begriffen werden, vergleichbar mit Straßen- oder Eisenbahnnetzen, die als natürliche Monopole vom Staat bereitgestellt werden (Olk 2020). Aus dieser Perspektive ergibt sich beispielsweise die Chance, eine attraktive öffentliche Cloud-Infrastruktur für die Landwirtschaft in Deutschland anzubieten, die naturschutzrelevante und agrarwirtschaftliche Daten an einem Ort bereitstellt. Dies könnte die wettbewerbliche Entwicklung von Anwendungen ermöglichen, die ökologische und ökonomische Zielsetzungen gleichermaßen berücksichtigen.

5.2 Wie können die (Einstiegs-)Hürden für kleinere und mittlere Betriebe abgebaut werden?

Die Nutzung kostenintensiver digitaler Agrartechnologien kann vor allem für kleinere und mittlere Betriebe ein ökonomisches Risiko darstellen. Kehl et al. (2021) verweisen auf „relativ hohe Investitionskosten, ein erhöhter Managementbedarf sowie der häufig unsichere Nutzen digitaler Agrartechnologien“, die zur Folge haben, „dass sie derzeit hauptsächlich in großen Betrieben eingesetzt werden“ (S. 224-225). Damit kleinere und mittlere Betriebe von der Digitalisierung profitieren können, sollten die Einstiegshürden für diese abgebaut werden. Verschiedene Maßnahmen kommen dafür in Betracht, erstens die Förderung überbetrieblicher Gemeinschaften, zweitens die Stärkung von Ausbildung und Beratung, drittens die Etablierung finanzieller Förderinstrumente (Kehl et al. 2021, S. 225) und viertens die Entwicklung kooperativer Plattformen.

Überbetriebliche Bewirtschaftungsformen (z. B. Maschinengemeinschaften, Maschinenringe, Lohnunternehmer) bieten kleineren und mittleren Betrieben die Möglichkeit, kostenintensive digitale Agrartechnologien wirtschaftlich nutzen zu können. Mit Blick darauf wäre zu prüfen, wie Maschinenringe staatlicherseits bei der Erbringung und Weiterentwicklung ihrer Dienstleistungen unterstützt werden können. Dies wäre vor allem für Regionen mit vielen kleinen und mittleren Betrieben relevant, darunter Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz. In Betracht kommen „sowohl eine finanzielle Förderung der überbetrieblichen Maschinenvermittlung, wie es beispielsweise von Bayern praktiziert wird als auch eine enge Kooperation – ggf. auch unterstützt durch öffentliche Fördermittel – zwischen den Maschinenringen und den verantwortlichen staatlichen Beratungseinrichtungen beim Aufbau digitaler Beratungskapazitäten und -angebote“ (Kehl et al. 2021, S. 22). Maschinenringen, gemeinsamen Investitionen sowie Lohnunternehmen und Dienstleistern wird (vor dem Hintergrund der teilweise mangelnden Profitabilität von Investitionen in Smart Farming für einzelne Landwirte) eine größere Bedeutung zukommen (Finger et al. 2020 unter Verweis auf Kutter et al. 2011).

Kleine und mittlere Agrarbetriebe benötigen sowohl Technikberatung (Bedienung und Wartung), als auch Hilfeleistung bei der weiteren Betriebsentwicklung, bei Rechtsfragen (z. B. Datenhoheit und Datenschutz), bei Fragen des Datenmanagements sowie bei der Folgen- und Nutzenbewertung einzelner

Digitaltechnologien. Hierzu bedarf es der Entwicklung individueller Lösungen, die auf die konkreten Bedarfe der Betriebe zugeschnitten sind (Kehl et al. 2021).

Durch die finanzielle Förderung für die Einführung neuer digitaler Agrartechnologien besteht die Möglichkeit, „dass die Technologien für eine größere Zahl kleinerer Betriebe rentabel einsetzbar werden, da mit geringeren Fixkosten auch die Wirtschaftlichkeitsschwelle niedriger liegt“ (Kehl et al. 2021, S. 229). Allerdings ist die Gewährung von Investitionszuschüssen nur für solche Agrartechnologien empfehlenswert, die einen erwiesenen betrieblichen Nutzen haben und deren Umweltwirkungen positiv ausfallen. Diesbezüglich „gibt es aufgrund komplexer Wirkzusammenhänge teilweise noch erhebliche Wissenslücken, sodass sehr sorgfältig abzuwägen ist, welche Investitionen bezuschusst werden sollen“ (Kehl et al. 2021, S. 229). Wenn Smart Farming Anwendungen an Dienstleister vergeben werden, besteht insbesondere unter bestimmten Marktconstellationen (hohe Marktmacht einzelner Dienstleister) die Gefahr, dass staatliche Subventionen nicht bis zu (den auftraggebenden) kleinen und mittleren Betrieben durchdringen und sich die Anwendung von Precision Farming Technologien (aufgrund hoher Preise) geringer verbreitet (Wang et al. 2022).

Schließlich könnte die Förderung kooperativer Plattformen eine wichtige Grundlage für die Nutzung digitaler Agrartechnologien für kleine und mittlere Betriebe schaffen. Die möglichst kostenfreie und praktikable Bereitstellung externer Geodaten und anderer Datenbestände (Wetter-, Kataster-, Satellitendaten etc.), die sich zumeist in Händen der öffentlichen Behörden und Verwaltungen befinden, ist eine wichtige Voraussetzung für die weitere Verbreitung der Digitalisierung in der Landwirtschaft (Griepentrog et al. 2019). Durch Zusammenführung von Datenbanken etc. könnten digitale Daten auch dazu genutzt werden, den bürokratischen Aufwand gerade auch für kleine und mittlere landwirtschaftliche Betriebe zu reduzieren (Feindt et al. 2019).

5.3 Wie müssten öffentliche Förderprogramme weiterentwickelt werden bzw. bedarf es neuer Förderinstrumente?

Deutschland verfügt über eine umfangreiche Forschungs-, Innovations- und Förderlandschaft bezüglich der Digitalisierung der Agrarwirtschaft. Dazu gehören zahlreiche etablierte Institutionen der Agrar- und Ökolandbauforschung, Förderprogramme wie das Innovationsförderprogramm der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung und das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und nicht zuletzt auch die Einrichtung von regionalen Experimentierfeldern zur Digitalisierung der Landwirtschaft durch das BMEL. Um weitere Fortschritte zu erzielen sowie Synergien nutzen zu können, schlagen Kehl et al. (2021) die Erarbeitung einer übergreifenden Forschungsstrategie vor. Dabei kommt der Politik die Aufgabe zu, durch die Initiierung von Forschungsprogrammen stärker Innovationsakzente zur Lösung gesellschaftlicher Problemfelder, wie zurückgehende Biodiversität, Insektensterben, hoher Bodendruck, zu setzen. Mit Blick darauf werden vermehrt Forschungs- und Entwicklungsprogramme benötigt, welche sich stärker an agrarökologischen Prinzipien orientieren (Kehl et al. 2021, S. 231). Zusätzlich müssten Umweltsleistungen quantifizierbar sein. Digitale Technologien können hier hilfreiche Instrumente liefern. Klarheit müsste darüber geschaffen werden, wie Daten zur Messung der Umweltsleistungen erhoben, gebündelt, ausgewertet und genutzt werden sollen (u.a. durch Schaffung geeigneter Koordinierungsstellen). Am Beispiel des chemischen Pflanzenschutzes zeigt sich, dass der Einsatz von Drohnen- und Satellitendaten zum teilflächenspezifischen Pflanzenschutz und damit zur Einsparung von Pestiziden einen höheren (zeitlichen bzw. finanziellen) Aufwand für die Landwirte (besonders bei kleinen Flächen) mit

sich bringt. Befragte Praxisakteure fordern daher die finanzielle Förderung des Einsatzes derartiger Technologien zur Erreichung positiver Umwelteffekte (Henseling und Neumann 2022). Aktuelle Nachweise zu Drohnendaten für die teilflächenspezifische Düngung zeigen, dass der eingesparte Düngemittel-Input mithilfe von hochaufgelösten Drohnendaten zu gering ist, um die Investition für einzelne Landwirte rentabel werden zu lassen (Finger et al. 2020; Späti et al. 2021).

5.4 Wie kann die Markteinführung von Sprunginnovationen unterstützt und beschleunigt werden?

Sprunginnovationen sind Innovationen, die radikale Veränderungen für Wirtschaft und Gesellschaft mit sich bringen. Sie gehen über inkrementelle Verbesserungen bestehender Technologien, Produktionsprozesse und Wertschöpfungsketten hinaus. Ein solches Potenzial für eine Sprunginnovation hätte zum Beispiel die autonome Feldrobotik. Autonome Feldrobotik bietet die Möglichkeit, einzelne große Landmaschinen durch viele kleinere Landmaschinen zu ersetzen. Auch schwarmbasierte Nutzungsszenarien sind möglich. Ein Einsatzfeld ist beispielsweise die mechanische Unkrautbekämpfung, wie sie im Experimentierfeld Agro-Nordwest in einem Use Case verfolgt wird. Ökologisch vorteilhaft an der Nutzung der Geräte sind die geringere Bodenverdichtung, vor allem aber auch neue Möglichkeiten einer sehr kleinräumigen, in Zukunft vielleicht sogar auf die Einzelpflanze ausgerichtete, Produktionsgestaltung. Von autonomen Feldrobotern würde der ökologische Landbau in besonderem Maße profitieren, da die Geräte eine Arbeitsweise ohne chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel oder Düngemittel ermöglicht. Hinzu kommt, dass mithilfe autonomer Kleintechnik viele Ansätze des ökologischen Landbaus (wie mechanische Unkrautbekämpfung oder Fruchtfolgegestaltung) in den konventionellen Landbau übertragen werden könnten (Gaus et al. 2017, S. 97).

Kehl et al. (2021) sehen folgende Entwicklungsperspektive für die autonome Feldrobotik:

Wenn die Entwicklung hin zu modularen Plattformen gehen würde, die je nach Bedarf und Anwendungszweck mit passender Bewirtschaftungstechnik ausgestattet werden und dadurch eine höhere Auslastung erreichen, dann könnten derartige Robotersysteme auch für Betriebe mit geringerer Flächenausstattung wirtschaftlich einsetzbar werden. Allerdings stehen diese Technologien in ihrer Entwicklung meist noch relativ am Anfang [...]. (Kehl et al. 2021, S. 232)

Für eine breitere Anwendung der noch sehr neuen Technologien müssen diese leistungsfähiger, zuverlässiger und kostengünstiger werden. Der Zeitaufwand für das Beheben von Störungen beim Einsatz von Feldrobotern ist noch erheblich und es fehlt ein klarer Rechtsrahmen (Walther und Hampe 2021). Um die Markteinführung berechenbar zu gestalten und zu beschleunigen, braucht es angemessene Zulassungskriterien (in Deutschland) und Innovationsanreize für dieses Technologiesegment. „Dabei geht es nicht nur um Technikentwicklung im engeren Sinne, sondern um eine Innovation der landwirtschaftlichen Produktionssysteme um die neuen Verfahrenstechniken herum – bis hin zu einer Neugestaltung der gesamten Wertschöpfungskette“ (Kehl et al. 2021, S. 232).

6 Fazit

Zusammenfassend ist festzustellen: Dass der betriebliche Nutzen für Landwirtschaftsbetriebe gut erkennbar ist, stellt einen, wenn nicht sogar DEN, wesentlichen Diffusionsfaktor für eine beschleunigte Digitalisierung der Landwirtschaft dar. Viele der weiteren, im Rahmen des Experimentierfelds Agro-Nordwest vom IZT durchgeführten, Interviews und Workshops gehen Fragen nach, die letztendlich dazu beitragen, dass ein betrieblicher Nutzen gewährleistet werden kann. Dazu gehören Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Kosten-Nutzen-Relationen), technische Voraussetzungen wie Kompatibilität bzw. Konnektivität von Hard- und Software, rechtliche Rahmenbedingungen zu Fragen der Datenhoheit oder auch die Erfolgsbedingungen zur Etablierung neuer Geschäftsmodelle in einer digitalisierten Landwirtschaft und nicht zuletzt auch die Anforderungen an die Beschäftigten in den Landwirtschaftsbetrieben.

Ob die jeweiligen digitalen Agrartechnologien tatsächlich zu ökoeffizienteren und umweltentlastenden Lösungen führen (können), hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Die Ausgangsbedingungen der Betriebe spielen ebenso eine Rolle bei der Realisierung möglicher Umweltentlastungspotenziale wie naturräumliche Bedingungen, die Beschaffenheit der Betriebsflächen oder Pflanzenanbausysteme. Je nach ihrer Ausgestaltung haben die verschiedenen Agrartechnologien ein jeweils unterschiedliches Verbesserungspotenzial im Hinblick auf Umweltwirkungen der Landbewirtschaftung. Die Effekte erscheinen aber nicht ausreichend zu sein, um zentrale Umweltprobleme der landwirtschaftlichen Produktion (beispielsweise Stickstoffüberschüsse) zu beheben. Unter den jetzigen agrarwirtschaftlichen, -politischen und -rechtlichen Rahmenbedingungen fördert die Digitalisierung eher eine Optimierung bestehender landwirtschaftlicher Prozesse. Eine nachhaltige Transformation der Landwirtschaft wird die Digitalisierung allein nicht wesentlich voranbringen. Sie kann einen Beitrag liefern, aber nicht die Problemlösung. Notwendig ist daher die Einbettung der Digitalisierung in einen auf agrarökologische Anforderungen ausgerichteten Agrarstrukturwandel. Neben der Ausgestaltung der europäischen und nationalen Agrarpolitik wäre wichtig, sich auf gesellschaftlicher Ebene über die Ziele und die Entwicklungsrichtung zu verständigen, denen die Landwirtschaft zukünftig folgen soll. Dazu hat die Zukunftskommission Landwirtschaft jüngst erste Entwicklungspfade beschrieben, in denen sich die Transformation bewegen müsste. Diese bieten tragfähige Perspektiven der Agrar- und Umweltpolitik – tragfähig deshalb, weil sich die Vertreter unterschiedlicher organisierter gesellschaftlicher Gruppen mit widerstreitenden ökonomischen, ökologischen und sozialen Interessen darauf verständigt haben.

Literaturverzeichnis

Benning, R. (2020): Die Macht der Algorithmen. Vorschläge zum Umgang mit Big Data in der Landwirtschaft. In: AgrarBündnis e.V. (Hg.): Der kritische Agrarbericht 2020. „Stadt, Land – im Fluss“, S. 79–83. Online verfügbar unter https://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2020/KAB2020_79_83_Benning.pdf, zuletzt geprüft am 25.04.2022.

BMEL (2019): Digitale Experimentierfelder – ein Beitrag zur Digitalisierung in der Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/digitalisierung/digitale-experimentierfelder.html>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

BUND (2019): Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft. Diskussionspapier des BAK Landwirtschaft. Hg. v. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND). Online verfügbar unter https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/landwirtschaft/bak_landwirtschaft_diskussionspapier_digitalisierung.pdf, zuletzt geprüft am 15.07.2022.

DLG (o.J.): Düngung von Wiesen, Weiden und Feldern. dlG-Merkblatt 433. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. Online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_433.pdf, zuletzt geprüft am 17.06.2022.

Feindt, Peter Henning; Krämer, Christine; Früh-Müller, Andrea; Heißenhuber, Alois; Pahl-Wostl, Claudia; Purnhagen, Kai et al. (2019): Ein neuer Gesellschaftsvertrag für eine nachhaltige Landwirtschaft. Wege zu einer integrativen Politik für den Agrarsektor. Berlin, Heidelberg: Springer Open. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/331772638>, zuletzt geprüft am 11.11.22.

Finger, R.; Huber, R.; Wang, Y.; Späti, K.; Ehlers, M.-H. (Hg.) (2020): How digital innovations can lead to more sustainable agricultural systems. Unter Mitarbeit von Karl Behrendt und Dimitrios Pappas. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/344578989>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Gabriel, A.; Gandorfer, M. (2020): Landwirte-Befragung 2020. Digitale Landwirtschaft Bayern. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/ilt6_praesentation_by_2390_27082020.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2022.

Gaus, C. C.; Minßen, T. F.; Urso, L. M.; de Witte, T.; Wegener, J. (2017): Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Johann Heinrich von Thünen-Institut; Technische Universität Braunschweig; Julius Kühn-Institut. Online verfügbar unter https://orgprints.org/id/eprint/32438/1/32437_14NA004_011_012_thuenen_institut_de_Witte_Landmaschinen_Pflanzenbau.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2022.

Gegner, K.; Henseling, C. (2022): Parallelfahrssysteme - Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Gotsch, M.; Erdmann, L.; Eberling, E. (2020): Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen. Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Trendthemen der Digitalisierung mittels der Durchführung von Stakeholderdialogen.

Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_171-2020_digitalisierung_oekologisch_nachhaltig_nutzbar_machen.pdf, zuletzt geprüft am 22.09.2022.

Griepentrog, H. W.; Weis, M.; Weber, H.; Schneider, W. (2019): Maschinenring Digital (MR digital). Digitalisierungskonzept für kleine und mittlere Betriebe. In: A. Meyer-Aurich, M. Gandorfer, N. Barta, A. Gronauer, J. Kantelhardt und H. Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich? : Referate der 39. GIL-Jahrestagung, 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) (GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI) Proceedings, 287), S. 65–70, zuletzt geprüft am 19.10.2022.

Gscheidle, M. (2022): Strukturwirkung der Digitalisierung in der Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Aktuelle Beiträge. DOI: 10.12767/buel.v100i1.374.

Henseling, C.; Behrendt, S.; Gegner, K.; Willim, Z. (2022a): Drohnen­daten für das Klee­gras­management – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Henseling, C.; Behrendt, S.; Linsmaier, S. (2022b): Autonome Fütterungssysteme - Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Henseling, C.; Gegner, K. (2022): Digitale Datenerfassung zur Optimierung der Prozesskette Zuckerrübe – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Henseling, C.; Gegner, K.; Behrendt, S. (2022c): Autonome Feldrobotik – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Henseling, C.; Neumann, J. (2022): Drohnen­daten für den teil­flächenspezifischen Pflanzenschutz – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Henseling, C.; Willim, Z. (2022): NIRS-Technologie zur Ausbringung organischer Düngemittel – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.

Hessel, S. (2022): Data Act: die wichtigsten Fragen zum neuen Datengesetz der EU. Online verfügbar unter <https://www.reuschlaw.de/news/data-act-die-wichtigsten-fragen-zum-neuen-datengesetz-der-eu/>, zuletzt geprüft am 11.11.22.

Kehl, C.; Meyer, R.; Steiger, S. (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte. Teil II des Endberichts zum TA-Projekt. TAB-Arbeitsbericht Nr. 194. Hg. v. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Berlin. Online verfügbar unter <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000142951/146338637>, zuletzt geprüft am 25.07.2022.

Kliem, L.; Wagner, J.; Olk, C.; Keßler, L.; Lange, S.; Krachunova, T.; Bellingrath-Kimura, S. (2022): Digitalisierung der Landwirtschaft. Chancen und Risiken für den Natur- und Umweltschutz. Schriftenreihe des IÖW 222/22. Hg. v. Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung. Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung; Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. Berlin. Online verfügbar unter https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW_SR_222__Digitalisierung_der_Landwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Kutter, T.; Tiemann, S.; Siebert, R.; Fountas, S. (2011): The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. In: *Precision Agric* 12 (1), S. 2–17. DOI: 10.1007/s11119-009-9150-0.

Lieder, S. (2022): Chancen und Risiken der Digitalisierung für eine Ökologisierung einzelner Arbeitsschritte der ackerbaulichen Produktion. In: Frank Fuchs-Kittowski, Andreas Abecker und Friedhelm Hosenfeld (Hg.): Umweltinformationssysteme - Wie trägt die Digitalisierung zur Nachhaltigkeit bei? Tagungsband des 28. Workshops "Umweltinformationssysteme (UIS 2021)" des Arbeitskreises „Umweltinformationssysteme“ der Fachgruppe „Informatik im Umweltschutz“ der Gesellschaft für Informatik (GI). 1st ed. 2022. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Vieweg (Springer eBook Collection), S. 127–148. Online verfügbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/wre.12307>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Olk, C. (2020): Are Platforms Natural Monopolies? Online verfügbar unter <https://christopher-olk.medium.com/are-platforms-natural-monopolies-dab915b33a3>, zuletzt geprüft am 25.07.2022.

Porter, M. E.; Heppelmann, J. E. (2014): Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern. In: *Harvard Business Manager* (Sonderdruck aus Heft 12/2014), S. 1–28. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/12324512-Wie-smarte-produkte-den-wettbewerb-veraendern.html>, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

Rohleder, B.; Krüsken, B.; Reinhardt, H. (2020): Digitalisierung in der Landwirtschaft 2020, 2020. Online verfügbar unter https://www.bitkom-research.de/system/files/document/200427_PK_Digitalisierung_der_Landwirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Späti, K.; Huber, R.; Finger, R. (2021): Benefits of Increasing Information Accuracy in Variable Rate Technologies. In: *Ecological Economics* 185, S. 107047. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2021.107047.

Walther, S.; Hampe, M. (2021): Ökologische und ökonomische Potenziale digitaler Technologien im Unkrautmanagement. In: KTBL (Hg.): Boden gut machen – neue Ackerbausysteme. KTBL-Tagung am 16. und 17. März 2021, online. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) | Darmstadt, S. 214–215, zuletzt geprüft am 19.12.22.

Wang, Y.; Huber, R.; Finger, R. (2022): The role of contractors in the uptake of precision farming—A spatial economic analysis. In: *Q Open* 2 (1), Artikel qoac003. DOI: 10.1093/qopen/qoac003.

Zscheischler, J.; Brunsch, R.; Griepentrog, H. W.; Tölle-Nolting, C.; Rogga, S.; Berger, G. et al. (2021): Kapitel 4: Landwirtschaft, Digitalisierung und digitale Daten. In: Roland W. Scholz, Markus Beckedahl, Stephan Noller und Ortwin Renn (Hg.): DiDaT Weißbuch. Verantwortungsvoller Umgang mit digitalen Daten – Orientierungen eines transdisziplinären Prozesses: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG,

S. 7–8. Online verfügbar unter <https://www.nomos-elibrary.de/10.5771/9783748924111/didat-weissbuch>, zuletzt geprüft am 01.12.2021.

Zukunftskommission Landwirtschaft (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/abschlussbericht-zukunftskommission-landwirtschaft.pdf>, zuletzt geprüft am 23.09.2022.

www.izt.de
