

Innovationsreport

Interoperabilität und Sicherheit digitaler Landwirtschaftstechnologien: Welche Handlungsbedarfe gibt es?



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

Interoperabilität und Sicherheit digitaler Landwirtschaftstechnologien: Welche Handlungsbedarfe gibt es?

Experimentierfeld Agro-Nordwest

AutorInnen

Dr. Lydia Illge
Kathrin Gegner
Sabrina Linsmaier

l.illge@izt.de
k.gegner@izt.de
s.linsmaier@izt.de

Berlin, 2022

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

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Fragestellung	4
2	Vorgehensweise und Aufbau des Innovation-Reports	6
3	Digitalisierung der Landwirtschaft: Einordnung und Fokus	6
4	Interoperabilität in einer digitalisierten Landwirtschaft.....	8
5	Datensicherheit in einer digitalisierten Landwirtschaft.....	11
6	Betriebssicherheit autonomer Landwirtschaftsmaschinen und -systeme	14
7	Fazit	16

Abbildungen

Abbildung 1:	Themen der IZT-Workshopreihe im Projekt „Agro-Nordwest“ und Fokus dieses Innovationsreports	5
Abbildung 2:	Einordnung der Innovationsreports in die IZT-Forschungsformate im Projekt „Agro-Nordwest“	6
Abbildung 3:	Einordnung der Digitalisierung in die landwirtschaftliche Entwicklungsgeschichte	7

1 Hintergrund und Fragestellung

Die aktuell stattfindende, teils noch in einer frühen Innovationsphase befindliche Digitalisierung der Landwirtschaft in Deutschland ist mit der Erwartung verbunden, dass die landwirtschaftlichen Produktionsprozesse deutlich präziser, wirksamer und effizienter werden und dass die Qualität der landwirtschaftlichen Produkte sowie auch die landwirtschaftlichen Erträge gesteigert werden. Gleichzeitig sind die Veränderungsprozesse in der Landwirtschaft in Richtung „Digital Farming“ mit Kosten, betrieblichen Veränderungen und Unsicherheiten für die Landwirtschaftsbetriebe und Lohnunternehmen verbunden. Investitionen in smarte Landwirtschaftsmaschinen, Software und Systeme werden nur dann getätigt und betriebliche Veränderungen werden nur dann umgesetzt, wenn ein betrieblicher Mehrwert gesichert erwartet wird.

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) fördert mit 14 bundesweiten digitalen Experimentierfeldern die Digitalisierung in der Landwirtschaft. Die Projekte sollen dabei helfen, digitale Technologien im Pflanzenbau und in der Tierhaltung zu erforschen und deren Eignung für die Praxis zu überprüfen. Im Rahmen des Experimentierfeldes „Agro-Nordwest“, an dem zahlreiche Forschungspartner und Betriebe entlang der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette beteiligt sind (www.agro-nordwest.de), führt das IZT eine Workshop-Reihe durch, um die Nutzenpotentiale (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 zu erörtern. Auf dieser Basis sollen Lösungsansätze diskutiert werden, um die Digitalisierung der Landwirtschaft zu beschleunigen. Die im Zeitraum 2021 bis 2022 durchgeführte Workshop-Reihe umfasst insgesamt acht digitale Veranstaltungen zu folgenden Themen:

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: Welche politischen Rahmenbedingungen sind wirksam bzw. erforderlich?	

Quelle: IZT

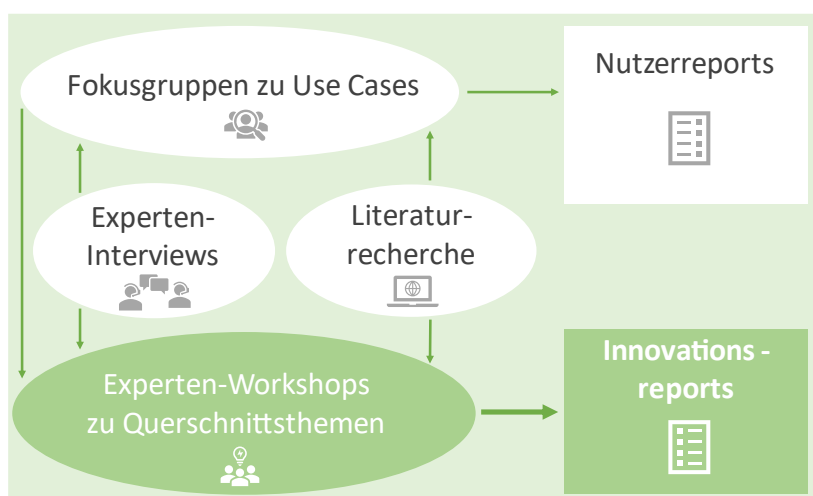
Die im vorliegenden Innovationsreport „Sicherheit und Kompatibilität digitaler Landwirtschaftstechnologien: Welche Handlungsbedarfe gibt es?“ diskutierten Fragestellungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Wie sind die derzeitigen Standardisierungsbemühungen für smarte Landwirtschaftsmaschinen, Software und Systeme zu bewerten und weiterzuentwickeln?
- Worin bestehen die Herausforderungen und Lösungsansätze, um IT-Sicherheit (Datenschutz und Ausfallsicherheit von Technik) zu gewährleisten?
- Wie kann mehr Rechtssicherheit und Arbeitssicherheit bezogen auf autonome Maschinen geschaffen werden?

2 Vorgehensweise und Aufbau des Innovation-Reports

Ausgehend von ausgewählten Anwendungsbereichen des Experimentierfeldes Agro-Nordwest (thematischer Fokus auf Informationsgewinnung mittels Kameras bzw. Sensorik, teilflächenspezifische Bodenbearbeitung und GPS-gesteuerte, autonome Fahrzeugbewegung im Pflanzenbau sowie auf autonome Fütterung in der Tierhaltung) und erweitert um eine Literaturanalyse sowie Experteninterviews mit breiterem Anwendungsfokus wurde eine Auswertung potenzieller wichtiger Akteure und neuer Geschäftsmodelle im Zuge der Digitalisierung in der Landwirtschaft vorgenommen. Innerhalb des Experimentierfeldes Agro-Nordwest wurden außerdem Einzel- und Gruppengespräche durchgeführt – und für die Fragestellungen des vorliegenden Workshop-Reports ausgewertet. Außerdem flossen Erkenntnisse aus Fokusgruppen-Diskussionsrunden mit Landwirtschaftsbetrieben in die Auswertung ein.

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



Quelle: IZT

Der Innovationsreport ist im Wesentlichen entlang der zentralen Fragestellungen gegliedert (siehe Kapitel 1). Dies bedeutet im Einzelnen: Nach einer historischen Einordnung und begrifflichen Klärung der „Digitalisierung der Landwirtschaft“, wie sie dem vorliegenden Workshop-Report zugrunde liegt (Kapitel 3) wird auf die Herausforderungen und Lösungsansätze bezogen auf Interoperabilität (Kapitel 4), Datensicherheit (Kapitel 5) und Betriebssicherheit (Kapitel 6) in einer digitalisierten Landwirtschaft eingegangen. Der Innovationsreport endet mit einem Fazit (Kapitel 7).

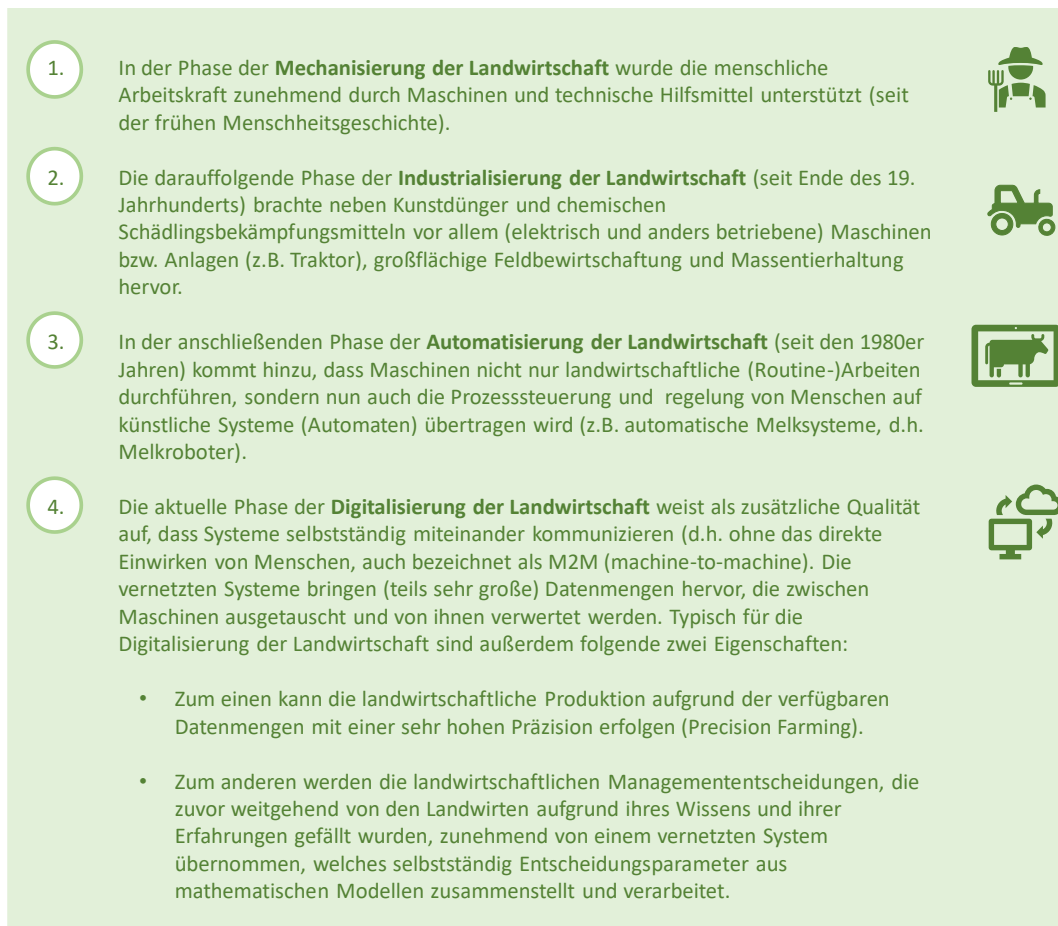
3 Digitalisierung der Landwirtschaft: Einordnung und Fokus

Die Digitalisierung bringt für die gesamte Gesellschaft – und so auch für die Landwirtschaft – grundlegende strukturelle Veränderungen mit sich. Hieraus erwächst die Herausforderung, die Landwirtschaft in Deutschland für die auf sie zukommenden Veränderungen „fit zu machen“. Gleichzeitig wird die Digitalisierung als Lösungsansatz angesehen, um den vielfältigen Herausforderungen an die Landwirtschaft (Stichworte: Wettbewerb und Preisdruck auf internationalen Märkten, Arbeitskräftemangel, natürliche Optimierungsgrenzen, Nitratbelastungen) erfolgreich zu begegnen, indem beispielsweise die

Arbeitsbedingungen in der Landwirtschaft verbessert, der Arbeitskräftebedarf in unattraktiven Arbeitsbereichen verringert, negative Umwelteffekte minimiert und Produktivitätssteigerungen erzielt werden können.

Die Digitalisierung der Landwirtschaft ordnet sich wie folgt in die landwirtschaftliche Entwicklungsgeschichte ein, deren Phasen sich zeitlich überlappen (siehe Abbildung 3):

Abbildung 3: Einordnung der Digitalisierung in die landwirtschaftliche Entwicklungsgeschichte



Quelle: IZT, basierend auf Martinéz 2016, S. 14–17, unter Verweis auf Brakensiek et al. 2016; Spoerer und Streb 2013; Springer Gabler Verlag 2018.¹

Das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL) betont zum einen die „Überführung von Informationen von einer analogen in eine digitale Speicherung“ und zum anderen die „Automation von Prozessen und Geschäftsmodellen durch das Vernetzen von digitaler Technik, Informationen und Menschen“ (BMEL 2021a, S. 7). Bereiche bzw. „Schlagworte“ der Digitalisierung umfassen demnach unter anderem die Sensorik, Robotik, Automation, künstliche Intelligenz und Big Data.

¹ Eine andere Systematisierung der landwirtschaftlichen Entwicklung fokussiert auf die industriellen Entwicklungsstufen Industrie 1.0 bis 4.0 und leitet entsprechend die Stufen Landwirtschaft 1.0 bis 4.0 ab. Dabei entspricht Landwirtschaft 4.0 weitgehend der Digitalisierung der Landwirtschaft, wie sie im vorliegenden Papier beschrieben wird (vgl. MLR o.D.).

*Hardware*seitig ist die Digitalisierung der Landwirtschaft im Pflanzenbau u.a. anhand von autonom fahrenden (größeren) Landwirtschaftsfahrzeugen oder (häufig eher kleinen) Feldrobotern, Drohnen (typischerweise mit Kameras bzw. Sensorik für unterschiedliche Zwecke, aber auch Applikationstechniken für Dünge- und Pflanzenschutzmittel) sichtbar. *Software* dient der Verarbeitung von (teils sehr umfangreicher bzw. detaillierter) Datenmengen, die z.B. mit Hilfe von Sensoren gewonnen wurden und nun von (teils selbstlernenden) Programmen verarbeitet und ausgewertet werden.

Die *systemische* Dimension von digitalen Anwendungen in der Landwirtschaft äußert sich beispielsweise in Multi-Agenten-Systemen, bestehend aus unterschiedlichen Hard- und Softwarekomponenten (z.B. Feldroboter-Schwarmflotten, siehe Salah und Chen 2018) sowie den sie bedienenden bzw. steuernden landwirtschaftlichen Beschäftigten. Die technischen Komponenten „kooperieren“ untereinander und mit den landwirtschaftlichen Beschäftigten, indem sie Informationen bzw. Daten austauschen und verwerten. So werden landwirtschaftliche (Routine-) Tätigkeiten und Management-Entscheidungen unterstützt oder vollständig durch die Technik übernommen (Stichwort: Algorithmen). Farmmanagementinformationssysteme (FMIS) sind ein typisches Beispiel für derartige entscheidungsunterstützende Tools.

Ein zentrales Element einer digitalisierten Landwirtschaft, welches ebenfalls auf der systemischen Ebene angesiedelt ist, besteht in einer intelligenten Vernetzung über die gesamte landwirtschaftliche Wertschöpfungskette hinweg, also auch mit den der Landwirtschaft vor- und nachgelagerten Wirtschaftssektoren. Eine solche systemische (datenbasierte) Vernetzung der Landwirtschaft existiert aktuell weitgehend noch nicht, entwickelt sich aber sukzessive und kann als langfristig erwartbar angesehen werden (Stichwort „Landwirtschaft 4.0“, Gandorfer et al. 2017).

4 Interoperabilität in einer digitalisierten Landwirtschaft

Die Gewährleistung einer **Interoperabilität** der verschiedenen datentechnischen Komponenten und Systeme in einer digitalisierten Landwirtschaft wird vielfach als eine Erfolgsbedingung und gleichzeitig als eine Herausforderung beschrieben (Engelhardt et al. 2017; Bartels et al. 2020). Der Begriff Interoperabilität steht für die Fähigkeit von Systemen und Geräten (insbesondere von unterschiedlichen Herstellern), miteinander zu kommunizieren und Daten auszutauschen. Aus der Nutzerperspektive geht es darum, dass diese Kommunikation und der Datenaustausch zwischen Geräten und Komponenten direkt – also ohne zusätzliche Anpassungen und Konfigurationen – möglich sind. Die Idee einer Interoperabilität geht über eine reine **Kompatibilität** der Technik (die ebenfalls vielfach als notwendig erachtet wird; z.B. Schmitz 2017; Schukat et al. 2022; Schleicher und Gandorfer 2018; Kühl et al. 2021) hinaus. Kompatibilität steht für eine grundsätzliche *Anpassbarkeit* der Komponenten und Systeme (Schnittstellen bei der Hardware, kompatible Datenformate etc.), während Interoperabilität den Fokus auf ein bereits gewährleistetes datenbasiertes gemeinsames *Funktionieren* bei der Benutzung von Farmmanagementinformationssystemen in Verbindung mit verschiedener Landtechnik und weiteren Apps etc. legt.

Der Nutzen einer digitalisierten Landwirtschaft kann sich nur mit (weitgehend) vorhandener Interoperabilität der datentechnischen Komponenten und Systeme vollumfänglich niederschlagen. Nicht oder nur teilweise vorhanden ist die Interoperabilität (im Jahr 2022), weil die verschiedenen digitalen Services für Landwirtschaftsunternehmen von unterschiedlichen Anbietern entwickelt wurden (und

werden). Die Entwicklungsprozesse fanden und finden naturgemäß weitgehend zeitgleich und unabh- gestimmt – sowie häufig in einer Konkurrenzsituation – statt. Im Ergebnis werden die digitalen Services für die Landwirtschaft mit unterschiedlichen technischen „Anschlussmöglichkeiten“, Datenformaten, Systemstrukturen und Leistungen angeboten.

Aus Sicht der Landwirtschaftsbetriebe führt ein Fehlen von Interoperabilität zu dem, dass un- terschiedliche (von verschiedenen Anbietern) angeschaffte Komponenten oder FMIS nicht oder nur teilweise – bzw. nur mit einem signifikanten Aufwand (oder mit Hilfe Dritter) – miteinander kommuni- zieren und zusammenarbeiten können (Kraatz et al. 2019; Kehl et al. 2021a; Schukat et al. 2022; Henseling und Willim 2022). Es resultieren Rechercheaufwand und/oder finanzieller Aufwand für Zu- satzinvestitionen für die Landwirtschaftsbetriebe, um Interoperabilität herzustellen (soweit dies tech- nisch-organisatorisch überhaupt möglich ist). Im Ergebnis sind Landwirtschaftsbetriebe zurückhalten- der bei Investitionen in digitale Services und Maschinen. Fehlende Interoperabilität stellt in diesem Sinne eine Akzeptanzhürde für digitale Services und Maschinen dar (Kühl et al. 2021; Henseling und Willim 2022).

Eine weitere Auswirkung fehlender Interoperabilität, die auch auf dem Agro-Nordwest-Innovations- Workshop (siehe Kapitel 2) thematisiert wurde, wird als „Lock-in-Effekt“ bezeichnet. Gemeint ist da- mit, dass Landwirtschaftsbetriebe bei Folgeinvestitionen auf Hersteller bereits erworbener digitaler Komponenten/Maschinen zurückgreifen „müssen“, um eine Interaktion zwischen im Betrieb bereits vorhandenen und neu erworbenen Komponenten/Maschinen möglich zu machen. Auf diese Weise versuchen Hersteller, Kunden auch bei Folgekäufen an sich zu binden.

Eine Voraussetzung dafür, um Interoperabilität herzustellen, sind herstellerübergreifende **Standards** (Schmitz 2017; Kehl et al. 2021a; DIN 2022). Dazu gehören folgende Kategorien, die anhand von Bei- spielen erläutert werden:

- *einheitliche Kommunikationsprotokolle und Datenformate*: ISOBUS ist ein **Kommunikations-protokoll** (d.h. eine Reihe von Regeln und Standards, die festlegen, wie Daten zwischen Gerä- ten oder Systemen übertragen werden), welches spezifisch für die Kommunikation zwischen landwirtschaftlichen Maschinen entwickelt wurde. Das Kommunikationsprotokoll wurde als internationaler Standard bzw. Norm von der International Organization for Standardization (ISO) definiert (ISO-Norm 11783). Das **Datenformat** ISOXML ist im Rahmen von ISOBUS defi- niert. Es dient dazu, Daten zwischen Maschinen und FMIS auszutauschen, und ermöglicht die Dokumentation von Maschinendaten ebenso wie die Handhabung von Applikationskarten. Die standardisierte **Datenaustauschsprache** AgroXML definiert nicht nur das Datenformat, son- dern auch die Regeln und Protokolle für den Datenaustausch. Sie dient z.B. dem Datenaus- tausch von FMIS an landwirtschaftliche Dienstleister. Umgekehrt ermöglicht sie auch die Be- reitstellung von Daten über Dünger oder Pestizide von den Lieferanten.
- *Hardware-Standards*: Sie betreffen die physischen Schnittstellen bzw. Verbindungen zwischen unterschiedlichen Geräten, Sensoren und Maschinen. Die Standards dienen dazu, die Hard- ware kompatibel zu machen. Der oben erwähnte ISOBUS-Standard umfasst auch **standardi- sierte ISOBUS-Stecker, Kabel und Terminals** (Steuerungseinheiten im Traktor) um eine ein- heitliche Verbindung z.B. zwischen Traktoren und Anbaugeräten zu gewährleisten.
- *Software-Standards*: Sie umfassen **Programmierschnittstellen** (Application Programming In- terfaces – APIs), die es verschiedenen Softwareanwendungen ermöglichen, miteinander zu

kommunizieren und Daten auszutauschen. Offene (d.h. öffentlich zugängliche) APIs helfen Entwicklern, ISOBUS-Funktionalitäten in ihre Anwendungen zu integrieren, ohne sich um die Details der Standards kümmern zu müssen. Zu den Software-Standards gehören auch **Software-Architekturen**, die eine nahtlose Integration zwischen verschiedenen Softwarelösungen ermöglichen. Sie stellen Entwurfsmuster und Strukturen dar, die als „Best Practices“ für die Entwicklung von Softwareanwendungen anerkannt sind. Sie bieten eine einheitliche Grundlage, um die Entwicklung, Wartung und Skalierbarkeit von Software zu erleichtern.

- *Technologie-Standards*: Sie beziehen sich auf in der Landwirtschaft eingesetzte **Kommunikationstechnologien** wie GPS, RFID und drahtlose Kommunikationstechnologien (z.B. WLAN, Bluetooth, LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) und 5G).

Die erwähnten Standards stellen eine essentielle Voraussetzung für Interoperabilität dar. In der Literatur wird eingeschätzt, dass mehr und weiterentwickelte Standards benötigt werden (DIN 2022; Kehl et al. 2021b). Die Standards allein reichen aber nicht aus, um heterogene Maschinenparks und Systeme zu vernetzen. Hersteller und IT-Dienstleister haben „**Cloud-to-Cloud-Lösungen**“ entwickelt, die es – unter Verwendung der o.g. Standards – ermöglichen, dass Maschinen und Systeme unterschiedlicher Hersteller miteinander kommunizieren und Daten austauschen. Beispiele für herstellerübergreifende Cloud-to-Cloud-Lösungen (mit jeweils unterschiedlichen Ausrichtungen) sind der „agrirouter“ und „DataConnect“ (Kehl et al. 2021a, S. 80; Businesswire 2021; Feuerborn 2019; DKE-Data 2022).

Der *agrirouter* ist ein webbasiertes und herstellerunabhängiges Portal zum Austausch von Daten zwischen landwirtschaftlichen Maschinen und Softwareanwendungen verschiedener Hersteller. Mit standardisierten Datenformaten können der manuelle Aufwand reduziert und die Effizienz gesteigert werden. Durch die Nutzung von detaillierten Telemetriedaten und GPS-Positionen können landwirtschaftliche Abläufe mit hoher Präzision stattfinden. Der agrirouter verbindet „Endpunkte“ (Sender oder Empfänger) miteinander, die entweder „Telemetrie-Einheiten“ (Landmaschinen) oder Agrarsoftware darstellen und von einer Vielzahl von Herstellern kommen können. Die Landmaschinen müssen nicht ISOBUS-kompatibel sein. Es können folgende „Datentypen“ zwischen den Endpunkten ausgetauscht werden: ISOBUS-Auftragsdaten, Applikationskarten, Maschinen-, Positions- und Prozessdaten (Echtzeitdaten), Feldgrenzen, Bilder, Videos und PDF-Dokumente (DKE-Data 2022; Göggerle 2020; Horstmann 2020). *DataConnect* ermöglicht den Austausch von Maschinendaten einzelner (großer) Landmaschinenhersteller zwischen deren Webportalen. Zu den ausgetauschten Maschinenparametern gehören der aktuelle Standort der Maschine, ihre frühere Position, die Tankinhaltsanzeige, der Status der Maschine im Feld (aktiv arbeitend vs. stillstehend) und die Geschwindigkeit der Maschine (Businesswire 2021).

Insgesamt lässt sich feststellen, dass Cloud-to-Cloud-Lösungen – absehbar – unerlässlich sind, um Interoperabilität – und somit eine effiziente Nutzung unterschiedlicher digitalisierter Landmaschinen und Agrarsoftware – möglich zu machen. Wenn sie hinreichend nutzerfreundlich ausgestaltet und auf eine große Vielfalt und Breite an Herstellern (bzw. die relevantesten Hersteller) anwendbar sind, können sie ihren Nutzen für Landwirtschaftsbetriebe entfalten. Weitere Eigenschaften, die Cloud-to-Cloud-Lösungen erfüllen müssen, sind eine technische Robustheit (d.h. geringe Störanfälligkeit bzw. möglichst automatische Fehlerkorrektur bei Störungen) und technische Sicherheit (d.h. Schutz vor Schäden und möglichen externen Beeinträchtigungen/Eingriffen). Diese Anforderungen teilen Cloud-to-Cloud-Lösungen mit den Landmaschinen, Geräten und Agrarsoftware, deren Daten sie austauschen sollen.

Zu beachten ist dabei, dass die Systeme aus technischer Sicht grundsätzlich robust sein können (d.h. zuverlässig) – aber nicht notwendigerweise sicher (d.h. gesichert gegenüber externen Beeinträchtigungen) – und umkehrt.

5 Datensicherheit in einer digitalisierten Landwirtschaft

Dass Datensicherheit ein relevantes Thema auch für die Landwirtschaft ist, mag unmittelbar einleuchten. Die Landwirtschaft besitzt aber mit Blick auf Datensicherheit eine besondere Relevanz und auch einige Besonderheiten, wie nachfolgend beispielhaft verdeutlicht:

- Der Sektor Ernährung – und damit auch die Landwirtschaft als Lebensmittelproduzentin zählt zu den schutzwürdigen „Kritischen Infrastrukturen“ (KRITIS) und steht in wechselseitiger Abhängigkeit zu weiteren KRITIS-Sektoren wie Energie, Wasser sowie Informations- und Kommunikationstechnologie (BBK 2022; DKKV 2022). Tiefgreifende Störungen von Datenkommunikation könnten im Extremfall Auswirkungen auf die Nahrungsmittelversorgung mit sich bringen (BLE 2022).
- Die Auswirkungen eines technischen Systemausfalls können insbesondere im Bereich der Tierhaltung (Melkroboter, autonome Fütterung etc.) unmittelbare, drastische Folgen haben. Im Pflanzenbau können Sicherheitslücken und Systemausfälle weitreichende Folgen, beispielsweise in reduzierten Ernteerträgen haben (BMEL 2021b).
- GNSS-Systeme (globale Navigationssatellitensysteme), die die Positionssignale für viele digitale landwirtschaftliche Anwendungen wie Parallelfahrssysteme und Feldroboter senden, sind störanfällig (Reuter 2018).

In der Literatur wird zum einen festgestellt, dass das Thema Datensicherheit in der Praxis der Landwirtschaft relativ wenig bzw. zu wenig Aufmerksamkeit erfährt (Reuter et al. 2018, S. 630; Eberz-Eder et al. 2022). Zum anderen zeigt eine Studie, dass Datensicherheit von Landwirtschaftsbetrieben als mangelhaft angesehen wird (DLG 2018). Betont wird auch, dass die steigende Komplexität und hohe Dynamik in Verbindung mit begrenztem Wissen in Landwirtschaftsbetrieben es für die Betriebe zunehmend schwierig macht, bei Systemstörungen selbst zu reagieren (Zscheischler et al. 2021).

Vor dem Hintergrund der dargelegten Relevanz, Besonderheiten und Herausforderungen von Datenschutz in einer digitalisierten Landwirtschaft wird in diesem Kapitel gefragt: **Was zeichnet sichere digitale Dienste aus? Wo liegen die Herausforderungen und Lösungen, um digitale Dienste für Landwirtschaftsbetriebe sicher zu machen?**

Dazu zunächst eine begriffliche und konzeptionelle Klärung: Ganz grundsätzlich geht es bei der Schaffung bzw. Erhaltung von Sicherheit um das Vermeiden von Schäden, Verlusten bzw. Gefahren. Um Sicherheit zu schaffen, wird die Strategie des Schutzes bzw. Schützens angewendet. Am Beispiel von Daten wird dies deutlich: Datensicherheit erfordert **Datenschutz**. Daten werden vor unbefugtem Zugriff, Verlust oder Beschädigung geschützt. Um welche Daten geht es in einer digitalisierten Landwirtschaft? Dazu wurden im Innovationsreport „Digitalisierte Landwirtschaft: Wie gelingt effektive, effiziente und selbstbestimmte Datennutzung?“ ein Überblick geschaffen. Zu den genutzten digitalen Daten gehören demnach vor allem Bodendaten (z.B. Nährstoffgehalt), geografische Informationen (Lage), Wetter- und Klimadaten, Pflanzendaten, Tierdaten, Ertragsdaten, Markdaten, Maschinendaten (z.B.

Maschinenstandorte) sowie Ressourceneinsatzdaten (z.B. Einsatz von Dünger). Diese Daten können überwiegend als betriebsbezogene Daten bezeichnet werden. Datensicherheit bedeutet in diesen Fällen, dass die Daten vor unbefugtem **Zugriff**, **Datenverlust** und **Systemausfällen** geschützt sind. Dabei kann ein Datenverlust sowohl auf unbefugten Zugriff als auch auf Systemausfälle zurückgehen. Ein unbefugter Zugriff muss aber nicht notwendigerweise einen Datenverlust mit sich bringen. Systemausfälle können (je nach getroffenen Schutzmaßnahmen) zu temporären oder dauerhaften Datenverlusten führen. Die Ursachen von Systemausfällen können in technischen Unzulänglichkeiten oder externen Eingriffen (Cyberkriminalität) bestehen.

Mit zunehmender Nutzung digitaler Technologien und Datenmanagementsystemen in der Landwirtschaft steigen naturgemäß auch die Risiken und Herausforderungen in Bezug auf Datensicherheit. So dynamisch, wie die Digitalisierung selbst ist, verändern sich auch die Herausforderungen, die sich mit sich bringt. Beim Schutz von Daten handelt sich also – insgesamt betrachtet – um einen fortlaufenden, sich stets in Veränderung befindlichen Prozess.

Die unterschiedlichen **Herausforderungen** mit Blick auf Datensicherheit lassen wie folgt verdeutlichen:

- Digitale Dienstleistungen für die Landwirtschaft nutzen zur *Datenspeicherung* oftmals zentrale Server in Rechenzentren. Zentrale „*Cloud-Computing*“-Lösungen bieten den Vorteil, dass bei lokalen Störungen keine Daten verloren gehen. Werden viele Aktionen eines landwirtschaftlichen Betriebs über die Cloud koordiniert, steigt jedoch das Risiko für einen kompletten Arbeitsstillstand, wenn der Cloud-Service ausfällt. Die Ursachen für einen Ausfall des Cloud Computing können technische Schwierigkeiten (*Strom- oder Internetausfall*) oder auch Cyberangriffe sein (Reuter et al. 2018; Eberz-Eder et al. 2022).
- Im Bereich der *Cyberkriminalität* kann es so genannte „Denial-of-Service“-Angriffe geben, bei denen sehr viele Anfragen an einen Webserver gesendet werden, mit dem Ziel diesen zu überfordern und somit den Zugriff auf eine Cloudlösung zu *beeinträchtigen oder komplett zu blockieren*. Darüber hinaus besteht die Gefahr des Social Engineering, bei dem (mit Hilfe von Phishing-Mails o.ä.) *illegaler Zugriff auf betriebsinterne Daten* und Systeme erlangt wird (Reuter et al. 2018).
- Darüber hinaus stellt das weiter oben erwähnte begrenzte Wissen von Landwirtschaftsbetrieben (Zscheischler et al. 2021) eine generelle Herausforderung dar, um Datensicherheit bei der Nutzung digitaler Tools und Dienste zu gewährleisten. Es kann als ein Aspekt von *Datensouveränität* angesehen werden, welche im Innovationsreport „Digitalisierte Landwirtschaft: Wie gelingt effektive, effiziente und selbstbestimmte Datennutzung?“ erläutert wurde. Wenn Landwirtschaftsbetriebe nicht nur das Wissen, sondern auch das Recht haben, über den Umgang mit den erzeugten bzw. verarbeiteten Daten selbst zu entscheiden (Datenhoheit), können sie Datensicherheit besser berücksichtigen – stehen aber umgekehrt auch in der Verpflichtung, dies zu tun (anstelle eines externen Dienstleisters). Die Sorge von Landwirt:innen vor einem Verlust ihrer Daten oder dem Datendiebstahl durch Konkurrenten ist relativ deutlich ausgeprägt (Kehl et al. 2021a; Martínéz 2016).

Die **Lösungsansätze** für mehr Datensicherheit lassen sich *technisch-organisatorische Datenschutzmaßnahmen* und geeignete *rechtliche Rahmenbedingungen* unterscheiden. Auf beide wird nachfolgende eingegangen:

- Die technisch-organisatorischen Maßnahmen schließen u.a. Firewalls, Verschlüsselung, regelmäßige Backups sowie auch betriebliche Zugriffsregelungen zu Daten, Technik und ggf. auch Räumlichkeiten ein. Damit verbunden sind Aufwände und ggf. auch Investitionen für die Landwirtschaftsbetriebe. Damit die jeweils geeigneten Maßnahmen in den einzelnen Landwirtschaftsbetrieben auch tatsächlich ergriffen werden, bedarf es eines *Sicherheits- und Risikobewusstseins* bei den zuständigen Personen in den Landwirtschaftsbetrieben (Linsner et al. 2019). Notwendiges IT-Wissen müssen sich die Landwirte regelmäßig auf Fortbildungen aneignen oder die Services durch externe IT-Dienstleister durchführen lassen (Reuter et al. 2018).
- Die Resilienz digitaler Infrastrukturen landwirtschaftlicher Betriebe lässt sich durch die Nutzung *hybrider Systeme* stärken, die Online- und Offline-Anwendungen kombinieren (BMEL 2021b; Bernardi et al. 2019). Nach dem „*Offline-First-Prinzip*“ sollen Programme möglichst so geschrieben werden, dass sie auch ohne Internetanbindung genutzt werden können (Reuter et al. 2018). Solche Programme setzen auf einer eigenen Datenbank auf und sind auch offline funktionsfähig. Bei Bedarf verfügen sie aber auch über volle Konnektivität, um zwischen verschiedenen Geräten (auf dem Traktor etc.) und dem zentralen Betriebs-PC zu synchronisieren (Reuter et al. 2019). Als Schutz vor „Denial-of-Service“-Angriffen wird eine dezentrale Infrastruktur empfohlen (Bernardi et al. 2019).
- Auf die Vorteile des Cloud Computing wurde schon im Kontext der Herausforderungen mit Blick auf Datensicherheit hingewiesen. Die zentrale Datenspeicherung stellt – aus Sicht des einzelnen Landwirtschaftsbetriebs – eine Kombination von positiven Effekten (Sicherung im Sinne einer betriebsexternen Datensicherung, Effizienzvorteile) und Risiken (alle Daten an einem Ort leichter angreifbar) dar. Vor diesem Hintergrund wird im Sinne einer resilienten digitalisierten Landwirtschaft auf die Vorteile des „*Edge Computing*“ (Eberz-Eder et al. 2021) in Verbindung mit der Maxime „*offline first*“ (Reuter et al. 2019) hingewiesen. Dabei werden Daten dezentral verarbeitet („am Rand“ des Netzwerks) - also dort, wo die Daten tatsächlich entstehen. Im Gegensatz zum Cloud Computing, bei dem Daten zentral in Rechenzentren verarbeitet werden, erfolgt die Verarbeitung bei Edge Computing auf Servern direkt vor Ort bzw. in „dezentralen Edge-Rechenzentren“. Die Vorteile sind Effizienzgewinne (schnellere und unmittelbare Datenverarbeitung, Weiterleitung nur ausgewählter Daten an zentrale Systeme). Es wird aber auch argumentiert, dass Edge Computing zu einer resilienten digitalisierten Landwirtschaft beiträgt, indem die Ausfallsicherheit erhöht wird. Insbesondere mit dem 5G-Mobilfunk eröffnen sich Möglichkeiten, die Daten auf einer Vielzahl an dezentralen „Mini-Servern“ bzw. „digitalen Inselnetzen“ zu synchronisieren (Eberz-Eder et al. 2021; Reuter et al. 2019).
- Der Begriff Datenschutz wird im Allgemeinen mit dem *Schutz personenbezogener Daten* gleichgesetzt. Sie besitzen aus Sicht des Gesetzgebers eine besondere Schutzwürdigkeit. Bezogen auf Landwirtschaftsbetriebe handelt es sich vor allem um Mitarbeiterdaten (inkl. Arbeitszeiten und GPS-Daten einzelner Maschinen) sowie um Kundendaten (z.B. Bestellungen und Lieferinformationen). Die *Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)* regelt, dass hohe Sicherheitsstandards für die Verarbeitung und Speicherung personenbezogener Daten einzuhalten sind. Der in der Genehmigungsphase befindliche *Data Act* der EU wird darüber hinaus die (sichere) Datenweitergabe zwischen Unternehmen regeln. Erwartet wird auch, dass der Data Act die Vorschriften für ein Verbot missbräuchlicher Vertragsklauseln (bezogen auf Datenzugang und Datennutzung) regeln und harmonisieren wird.

6 Betriebssicherheit autonomer Landwirtschaftsmaschinen und -systeme

Digitale Technologien und Dienste (wie GPS, Sensoren und Datenanalysen) sind entscheidend dafür, dass autonome Landwirtschaftsmaschinen (z.B. Feldroboter, Drohnen, Bewässerungssysteme sowie auch Lager- und Transportroboter) gesteuert und überwacht werden können. Sie ermöglichen damit erst die Entwicklung autonomer Landwirtschaftsmaschinen und ihre schrittweise Integration in die landwirtschaftliche Praxis. Vorbehalte und Herausforderungen gibt es nicht nur bezüglich der in diesem Report schon thematisierten Interoperabilität und Datensicherheit – sondern auch bezogen auf weitere Sicherheitsaspekte, die im Folgenden unter dem Begriff „Betriebssicherheit“ subsumiert werden. Gemeint sind damit (eher technische) Fragen der Verkehrs- und Betriebssicherheit von autonomen Landwirtschaftsfahrzeugen und -maschinen sowie (rechtliche) Haftungsfragen (im Fall von Unfällen oder Schäden).

Autonome Landwirtschaftsmaschinen müssen eine Reihe von Sicherheitsanforderungen erfüllen. So müssen autonome Landwirtschaftsfahrzeuge in der Lage sein, Personen, Objekte und Hindernisse zuverlässig zu erkennen, um Unfälle zu vermeiden (Umfeldererkennung). Damit in Verbindung müssen beispielsweise Feldroboter Hindernisse vermeiden können, um Unfälle zu verhindern. Es gibt eine Reihe technischer Richtlinien und Normen, die für autonome Maschinen/Roboter gelten und die auch auf Feldroboter (u.a. autonome Systeme in der Landwirtschaft) anzuwenden sind. Sie bilden die Grundlage dafür, dass die Betriebssicherheit von Feldrobotern gewährleistet werden kann. Die Herausforderung liegt insbesondere auf der technischen Ebene, da Feldroboter – im Gegensatz zu Industrierobotern – unter veränderlichen und teils schwer vorhersehbaren Umfeldbedingungen verlässlich (und somit auch sicher) funktionieren müssen (Rübke von Veltheim 2021; Ruckelshausen 2019).

Die **Herausforderungen** bezogen auf die Betriebssicherheit autonomer Landwirtschaftsmaschinen wird anhand folgender Beispiele, die im Projekt Agro-Nordwest näher untersucht wurden, verdeutlicht:

- Die **autonome Feldrobotik** hat das Potential, durch immer genauere Sensoren zur Pflanzenerkennung, Echtzeitverarbeitung von Daten durch Algorithmen und zunehmend sichere Aktorik eine effektive, **mechanische Unkrautregulierung** zu ermöglichen. Feldroboter sind überwiegend noch nicht technisch ausgereift. Im Praxiseinsatz stellen Hanglagen und Steine im Acker Hürden für einen störungsfreien Einsatz der autonomen Feldrobotik dar. Die rechtlichen Rahmenbedingungen werden von Landwirtschaftsbetrieben aktuell als unklar wahrgenommen und somit als Hemmnis in der Technologieverbreitung gesehen. Es gibt Rechtsunsicherheit bezogen auf eine erforderliche Beaufsichtigung der Feldroboter, das Fahren auf öffentlichen Straßen sowie in Haftungsfragen bei Sach- oder Personenschäden. Hersteller und Anwender erhoffen sich klare rechtliche Grundlagen in diesen Bereichen (Henseling et al. 2022c).
- **Drohnen** werden in der Landwirtschaft u.a. zur **Ausbringung von Nützlingen** eingesetzt. In der Entwicklung befinden sich Anwendungen einer **Präzisionslandwirtschaft**, z.B. um Pflanzenschutzmittel räumlich nach Bedarf und Notwendigkeit einzusetzen („Spot Spraying“) oder um die Feldbewirtschaftung auf andere Weise kleinräumlich zu optimieren. Dies geschieht mittels eines an der Drohne befestigten Kamerasystems und einer maschinenlesbaren Applikationskarte (Henseling und Neumann 2022; Henseling et al. 2022a). Die rechtlichen

Rahmenbedingungen stellen ein Hemmnis in der Etablierung der Technik dar. Für den Einsatz von Drohnen, die schwerer als 250 Gramm sind, ist eine Registrierung notwendig und es muss ein Kompetenznachweis erbracht werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt muss die Drohne beim Überflug immer in Sichtweite des Drohnenpiloten sein, wodurch immer eine Person anwesend sein, und sich bei größeren Flächen auch mehrmals umpositionieren muss. Da Deutschland ein dicht besiedeltes Land ist und viele landwirtschaftliche Flächen in der Nähe von Straßen, Wohnsiedlungen oder Umweltschutzflächen liegen, müssten Flugverbotszonen geprüft werden, die über reine Sperrzonen an Flughäfen etc. hinausgehen (Kehl et al. 2021b).

- Bei der **autonomen Fütterung** liegen die Vorteile für Landwirtschaftsbetriebe vor allem in einer Erleichterung und Flexibilisierung der Arbeit, einer Optimierung der Futterzusammensetzung und Futtervorlage (indem sie in gleichbleibender Art und Menge ermöglicht werden). Autonom fahrende Futtermischwagen übernehmen die Futteraufnahme, den Transport und die Futterausbringung. Dafür benötigen sie ein hochgenaues GNSS (Global Navigation Satellite System), mit dem zentimetergenau auf dem Hof und in den Siloanlagen rangiert werden kann. Benötigt werden außerdem 2D-Laserscanner zur Umgebungserfassung (inkl. Personenschutz) und Sensoren, mit deren Hilfe das Umfeld und verschiedene Maschinenparameter aufgenommen werden. Ein wichtiger Bestandteil der funktionalen Sicherheit beim autonomen Futtermischwagen ist die Hinderniserkennung. Die dafür erforderlichen Sensoren müssen gesetzliche Anforderungen erfüllen, um eine Sicherheitszulassung zu erhalten. Eine besondere Herausforderung für einen sicheren Einsatz stellen die Umfeldbedingungen dar (Einsatz unter freiem Himmel, bei jedem Wetter und im 365-Tage-Betrieb). Die Sensorik muss außerdem extremen Wetterbedingungen wie Kälte und Frost standhalten. Analog zur Feldrobotik und zu autonomen Fahrzeugen im Allgemeinen ist auch beim autonomen Futtermischwagen die Rechtslage teilweise ungeklärt - insbesondere, wenn (zwischen Silo und Stall oder zwischen verschiedenen Ställen) öffentliche Straßen bzw. Wege benutzt werden oder zu überqueren sind. Auf dem Hof muss als Sicherheitsmaßnahme der Betriebsbereich eines autonomen Futtermischwagens abgegrenzt und eingezäunt werden – wodurch zusätzliche Kosten entstehen (Henseling et al. 2022b).

Lösungsansätze für mehr (bzw. eine hinreichende) Betriebssicherheit autonomer Landwirtschaftsmaschinen liegen primär auf der *technisch-organisatorischen* Ebene. Sie sind also (zumindest teilweise) eine Frage des Innovations- bzw. Entwicklungsstands autonomer Landwirtschaftsmaschinen. In der Entwicklung befinden sich *Sensoren und Kamerasysteme* für die Umfelderkennung und präzise Navigation. KI-Algorithmen zur Entscheidungsfindung und Anpassung an wechselnde Umgebungsbedingungen befinden sich ebenfalls in der Entwicklung. Auch die Entwicklung widerstandsfähiger und langlebiger Komponenten (*robuster Hardware*) bedarf noch weiterer Innovations- und Entwicklungsanstrengungen. Ein weiterer Bereich zukünftiger Forschung und Entwicklung bezieht sich auf den (sicheren und effizienten) Einsatz mehrerer autonomer Maschinen (Schwarmbetrieb).

Darüber hinaus bieten geeignete *Gesetze und Verordnungen* einen verbindlichen und Vertrauen fördernden Rahmen für Hersteller und Nutzer. Insbesondere die Frage der Haftung bezogen auf den Straßenverkehr bedarf einer gesetzlichen Klärung. Hinzu kommen die Rahmenbedingungen, die aus der EU-Maschinenrichtlinie (*Machinery Directive 2006/42/EC*) erwachsen. Sie legt allgemeine Sicherheitsanforderungen fest, die Maschinen erfüllen müssen, die auf dem EU-Markt verkauft werden. Auf dem im Rahmen von Agro-Nordwest durchgeführten Innovationsworkshop wurde deutlich, dass es einen

Bedarf gibt, die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Normen weiterzuentwickeln, um spezifische Anforderungen für autonome Landwirtschaftsmaschinen zu integrieren.

7 Fazit

Die Digitalisierung der Landwirtschaft bietet zahlreiche Vorteile, darunter die Verbesserung der Effizienz und Präzision landwirtschaftlicher Prozesse durch den Einsatz von Sensoren, Datenanalyse und automatisierten Systemen. Ein zentraler Erfolgsfaktor für ihren breiten Einsatz in der Landwirtschaft ist die *Interoperabilität*, also die Fähigkeit verschiedener Systeme und Geräte, miteinander zu kommunizieren und Daten auszutauschen. Eine Voraussetzung dafür, um Interoperabilität herzustellen, sind herstellerübergreifende *Standards*. Der Innovationsworkshop bestätigte den Befund der Literaturrecherche und Experteninterviews, dass mehr und weiterentwickelte Standards benötigt werden. Benötigt werden ebenfalls ausgereifte, herstellerunabhängige Cloud-to-Cloud-Lösungen, wie es sie teilweise bereits gibt. Es besteht aber weiterhin ein Entwicklungs- und Optimierungsbedarf für derartige Lösungen.

Ein weiterer Akzeptanzfaktor für digitale Dienste in der Landwirtschaft ist die *Datensicherheit*. Landwirtschaftliche Betriebe sind zunehmend auf digitale Daten angewiesen, die vor unbefugtem Zugriff, Verlust und Systemausfällen geschützt werden müssen. Die Sicherstellung der Datensicherheit erfordert sowohl technische Maßnahmen wie Firewalls und Verschlüsselung als auch organisatorische Maßnahmen wie regelmäßige Backups und klare Zugriffsregelungen. Die Sicherheit digitaler Systeme in der Landwirtschaft lässt sich durch die Nutzung *dezentraler, hybrider Systeme* stärken, die Online- und Offline-Anwendungen kombinieren. Ihr sicherer Gebrauch gelingt mit betrieblicher Betreuung durch Dienstleister und Mitarbeiterfortbildung.

Die *Betriebssicherheit autonomer Landwirtschaftsmaschinen* ist ebenfalls von großer Bedeutung. Diese Maschinen müssen in der Lage sein, zuverlässig und sicher zu arbeiten, um Unfälle und Schäden zu vermeiden. Technische Herausforderungen wie die Umfelderkennung und die Navigation unter wechselnden Bedingungen müssen gelöst werden, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Klare *gesetzliche Regelungen* sind notwendig, um die Haftungsfragen und Sicherheitsanforderungen für autonome Maschinen zu klären und Vertrauen bei den Anwendern zu schaffen.

Literaturverzeichnis

- Bartels, Nedo; Dörr, Jörg; Fehrmann, Jens; Gennen, Klaus; Groen, Eduard C.; Härtel, Ines et al. (2020): Abschlussbericht Machbarkeitsstudie. Machbarkeitsstudie zu staatlichen digitalen Datenplattformen für die Landwirtschaft. Hg. v. Fraunhofer IESE. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Digitalisierung/machbarkeitsstudie-agrar-datenplattform.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 13.04.2022.
- BBK (2022): Ernährung. Kritische Infrastrukturen. Hg. v. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Online verfügbar unter https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/Sektoren-Branchen/Ernaehrung/ernaehrung_node.html, zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- Bernardi, Ansgar; Reuter, Christian; Schneider, Wolfgang; Linsner, Sebastian; Kaufhold, Marc-André (2019): Hybride Dienstleistungen in digitalisierten Kooperationen in der Landwirtschaft – eine Forschungsagenda. 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, Bd. 287. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) (GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI) Proceedings, 287), S. 25–30.
- BLE (2022): Kritische Infrastruktur Landwirtschaft. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Online verfügbar unter https://www.ble.de/DE/Themen/Landwirtschaft/Kritische-Infrastruktur/Landwirtschaft_node.html, zuletzt geprüft am 19.04.2022.
- BMEI (2021a): Digitalisierung in der Landwirtschaft. Chancen nutzen – Risiken minimieren. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/digitalpolitik-landwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=18, zuletzt geprüft am 21.09.2021.
- BMEI (2021b): Positionspapier Datenmanagement in der Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Digitalisierung/Positionspapier_Datenmanagement.pdf;jsessionid=B644A3709DE9ECB82CDEE8114906A68F.2_cid335?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 24.03.2022.
- Brakensiek, S.; Kießling, R.; Troßbach, W.; Zimmermann, C. (Hg.) (2016): Grundzüge der Agrargeschichte. Köln.
- Businesswire (2021): DataConnect ist jetzt auf sechs digitalen Plattformen weltweit verfügbar. Online verfügbar unter <https://www.businesswire.com/news/home/20210701005375/de>, zuletzt geprüft am 20.06.2022.
- DIN (2022): Globale Standards für Smart Farming. DINs Beitrag für eine digitale, nachhaltige Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion. Online verfügbar unter <https://www.din.de/resource/blob/792166/2b3525e982f934caeda194c812949bb6/22-02-din-positionspapier-smart-farming-data.pdf>, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

- DKE-Data (2022): agrirouter: Die herstellerübergreifende Lösung für den Austausch deiner Daten. Online verfügbar unter <https://agrirouter.com/>, zuletzt geprüft am 15.08.2022.
- DKKV (2022): Landwirtschaft als kritische Infrastruktur. DKKV-Newsletter Mai 2022. Online verfügbar unter https://dkkv.org/wp-content/uploads/2022/11/NL_Mai_2022.pdf, zuletzt geprüft am 30.06.2022.
- DLG (2018): Digitale Landwirtschaft. Ein Positionspapier der DLG. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. Online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/ausschuesse_facharbeit/DLG_Position_Digitalisierung.pdf, zuletzt geprüft am 19.05.2022.
- Eberz-Eder, Daniel; Kuntke, Franz; Reuter, Christian (2022): Sensibilität für Resilient Smart Farming (RSF) und seine Bedeutung in Krisenzeiten. RSF für eine nachhaltige, umweltgerechte und resiliente digitale Landwirtschaft. In: Markus Gandorfer, Christa Hoffmann, Nadja El Benni, Marianne Cockburn, Thomas Anken und Helga Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Was bedeutet Künstliche Intelligenz für Agrar- und Ernährungswirtschaft? Referate der 42. GIL-Jahrestagung 21.- 22. Februar 2022, Agroscope, Tänikon, Ettenhausen, Schweiz (virtuell), Bd. 317. Gesellschaft für Informatik; Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Bonn: Gesellschaft für Informatik (GI-Edition. Proceedings, volume P-317), S. 81–86.
- Eberz-Eder, Daniel; Kuntke, Franz; Schneider, Wolfgang; Reuter, Christian (2021): Technologische Umsetzung des Resilient Smart Farming (RSF) durch den Einsatz von Edge Computing. In: A. Meyer-Aurich, M. Gandorfer, C. Hoffmann, C. Weltzien, S. Bellingrath-Kimura und H. Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten: Referate der 41. GIL-Jahrestagung 08.-09. März 2021, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V., Potsdam. Bonn: Gesellschaft für Informatik (GI-Edition. Proceedings, 309), S. 79–84.
- Engelhardt, Sebastian von; Wangler, Leo; Wischmann, Steffen (2017): Eigenschaften und Erfolgsfaktoren digitaler Plattformen. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Hg. v. iit-Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Berlin. Online verfügbar unter https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/autonomik-studie-digitale-plattformen.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 22.04.2022.
- Feuerborn, Bernd (2019): Claas und John Deere: Mit DataConnect Maschinendaten tauschen. Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/technik/john-deere-claas-dataconnect-558557>.
- Gandorfer, Markus; Schleicher, Sebastian; Heuser, Sebastian; Pfeiffer, Johanna; Demmel, Markus (2017): Landwirtschaft 4.0 - Digitalisierung und ihre Herausforderungen. In: Georg Wendl (Hg.): Ackerbau – technische Lösungen für die Zukunft. Landtechnische Jahrestagung 2017. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan, S. 9–19.
- Göggerle, Thomas (2020): Wozu braucht man eigentlich den Agrirouter? Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/technik/Ratgeber-agrirouter-agrarheute-erklaert-565705>, zuletzt geprüft am 21.04.2022.

- Henseling, Christine; Behrendt, Siegfried; Gegner, Kathrin; Willim, Zoe (2022a): Drohnendaten für das Klee grasmanagement – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.
- Henseling, Christine; Behrendt, Siegfried; Linsmaier, Sabrina (2022b): Autonome Fütterungssysteme - Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.
- Henseling, Christine; Gegner, Kathrin; Behrendt, Siegfried (2022c): Autonome Feldrobotik – Einschätzungen und Anforderungen aus Sicht der Nutzer. Nutzerreport. Experimentierfeld Agro-Nordwest. IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH.
- Henseling, Christine; Neumann, Jost (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, Christine; Willim, Zoe (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.
- Horstmann, Jan (2020): Digitalisierung und Vernetzung – Landwirtschaft im Wandel. In: Ludger Frerichs (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge. Braunschweig, S. 1–8. Online verfügbar unter https://publikationsserver.tu-braunschweig.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbbs_derivate_00047321/jahrbuchagrartechnik2019_digitalisierung.pdf, zuletzt geprüft am 12.04.2022.
- Kehl, Christoph; Meyer, Rolf; Steiger, Saskia (2021a): 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.
- Kehl, Christoph; Meyer, Rolf; Steiger, Saskia (2021b): Digitalisierung der Landwirtschaft: technologischer Stand und Perspektiven. Teil I des Endberichts zum TA-Projekt. TAB-Arbeitsbericht Nr. 193. Hg. v. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Berlin. Online verfügbar unter https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_digitalisierung-der-landwirtschaft.php#block3082, zuletzt geprüft am 25.07.2022.
- Kraatz, Franz; Tapken, Heiko; Nordemann, Frank; Iggena, Thorben; Tönjes, Ralf (2019): An Integrated Data Platform for Agricultural Data Analyses based on Agricultural ISOBUS and ISOXML. In: M. Ramachandran, R. Walters, G. Wills, V. Munoz und V. Chang (Hg.): Proceedings of the 4th International Conference on Internet of Things, Big Data and Security. IoTBDs. Heraklion, S. 422–429. Online verfügbar unter <https://dblp.org/db/conf/iotbd/iotbd2019.html>, zuletzt geprüft am 20.12.2020.
- Kühl, Jorrit; Reckleben, Yves; Schulz, Holger (2021): Smart-Farming-Technologien auf Ackerbaubetrieben – wie beurteilen Landwirte den Weg zur „Landwirtschaft 4.0“. In: A. Meyer-Aurich, M. Gandorfer, C. Hoffmann, C. Weltzien, S. Bellingrath-Kimura und H. Floto (Hg.): Informatik in der Land-

- , Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten: Referate der 41. GIL-Jahrestagung 08.-09. März 2021, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V., Potsdam, Volume P-309. Bonn: Gesellschaft für Informatik (GI-Edition. Proceedings, 309), S. 187–192. Online verfügbar unter https://gil-net.de/Publikationen/GIL2021_Gesamt_finalb.pdf, zuletzt geprüft am 24.06.2022.
- Linsner, Sebastian; Varma, Rashmi; Reuter, Christian (2019): Vulnerability Assessment in the Smart Farming Infrastructure through Cyberattacks. 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, Bd. 287. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. (GI) (GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI) Proceedings, 287), S. 119–124.
- Martínez, José (2016): Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft - die rechtliche Dimension. In: *Przegląd Prawa Rolnego/Agricultural Law Review* (19), S. 13–44. Online verfügbar unter <http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-4ae5f9fa-478e-4ea1-be57-e45200688bab>, zuletzt geprüft am 20.09.2021.
- MLR (o.D.): Landwirtschaft 4.0 - nachhaltig.digital. Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/landwirtschaft/landwirtschaft-40/landwirtschaft-40/>, zuletzt geprüft am 23.09.2022.
- Reuter, Christian (2018): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Reuter, Christian; Schneider, Wolfgang; Eberz, Daniel (2019): Resilient Smart Farming (RSF) - Nutzung digitaler Technologien in krisensicherer Infrastruktur. 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. 177–182.
- Reuter, Christian; Schneider, Wolfgang; Eberz, Daniel; Bayer, Markus; Hartung, Daniel; Kaygusuz, Cema (2018): Resiliente Digitalisierung der kritischen Infrastruktur Landwirtschaft - mobil, dezentral, ausfallsicher. In: R Dachsel und G Weber (Hg.): Mensch und Computer 2018 - Workshopband. Dresden, 2.-5. September 2018. Gesellschaft für Informatik, S. 623–632. Online verfügbar unter https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/16930/Beitrag_330_final__a.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 13.10.2021.
- Rübke von Veltheim, F (2021): Autonome Feldroboter in der Landwirtschaft: Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen. Online verfügbar unter https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/21.11130/00-1735-0000-0008-59B2-B/eDiss_Autonome%20Feldroboter_Ruebcke%20von%20Veltheim_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 23.10.2022.

- Ruckelshausen, A (2019): Feldrobotik in der Landwirtschaft - Vision oder Realität? Agrartage Rheinhes-
sen 2019. Kurzfassung der Vorträge. Online verfügbar unter [https://www.bbs-landwirtschaft.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/ED589AB67C4BAB3FC12583840047437C/\\$FILE/Prof.%20Dr.%20Arno%20Ruckelshausen%20-%20Feldrobotik%20in%20der%20Landwirtschaft%20AT%202019.pdf](https://www.bbs-landwirtschaft.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/ED589AB67C4BAB3FC12583840047437C/$FILE/Prof.%20Dr.%20Arno%20Ruckelshausen%20-%20Feldrobotik%20in%20der%20Landwirtschaft%20AT%202019.pdf), zuletzt geprüft am 20.09.2022.
- Salah, K; Chen, X (2018): Cooperative robotic systems in agriculture. In: Dan Zhang und Bin Wei (Hg.): Robotics and Mechatronics for Agriculture. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, S. 131–156.
- Schleicher, Sebastian; Gandorfer, Markus (2018): Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In: Arno Ruckelshausen, Andreas Meyer-Aurich, Karsten Borchard, Constanze Hofacker, Jens-Peter Loy, Rolf Schwerdtfeger et al. (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Marktplätze und Plattformen. 38. GIL-Jahrestagung. Kiel, 26.-27. Februar 2018 (Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings, 278), S. 203–206.
- Schmitz, Bernhard (2017): Digitale Landwirtschaft aus der Sicht eines Landmaschinenherstellers. In: Georg Wendl (Hg.): Ackerbau – technische Lösungen für die Zukunft. Landtechnische Jahrestagung 2017. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan, S. 21–26. Online verfügbar unter https://lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/ackerbau-technische-loesungen-zukunft-landtechnische-jahrestagung-2017_lfl-schriftenreihe.pdf#page=9, zuletzt geprüft am 12.04.2022.
- Schukat, Sirkka; Schukat, Esben; Heise, Heinke (2022): Herausforderungen bei der Einführung von Smart Products aus Sicht deutscher Landwirte. In: Markus Gandorfer, Christa Hoffmann, Nadja El Benni, Marianne Cockburn, Thomas Anken und Helga Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Was bedeutet Künstliche Intelligenz für Agrar- und Ernährungswirtschaft? Referate der 42. GIL-Jahrestagung 21.- 22. Februar 2022, Agroscope, Täni-
kon, Ettenhausen, Schweiz (virtuell). Gesellschaft für Informatik; Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Bonn: Gesellschaft für Informatik (GI-Edition. Proceedings, volume P-317), S. 259–264. Online verfügbar unter <https://gil-net.de/wp-content/uploads/2022/02/GIL-Tagungsband2022.pdf>, zuletzt geprüft am 22.12.2022.
- Spoerer, M; Streb, J (Hg.) (2013): Neue deutsche Wirtschaftsgeschichte des 20. Jahrhunderts. München.
- Springer Gabler Verlag (Hg.) (2018): Gabler Wirtschaftslexikon. Stichwort: Automatisierung. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/automatisierung-27138/version-250801>, zuletzt geprüft am 21.11.2021.
- Zscheischler, Jana; Rogga, Sebastian; Brunsch, Reiner; Buitkamp, Hermann; Scholz, Roland W. (2021): Automatisierung und Veränderung von Wissen und Urteilsfähigkeit in der Landwirtschaft: Neue Qualifikationsprofile und Abhängigkeiten. In: Roland W. Scholz, Markus Beckedahl, Stephan Noller und Ortwin Renn (Hg.): DiDaT Weißbuch. Verantwortungsvoller Umgang mit digitalen Daten – Orientierungen eines transdisziplinären Prozesses, Bd. 2021: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, S. 173–182. Online verfügbar unter https://didat.eu/files/pdf/vernehm/WBK04/SI4_3_Agrar_Automatisierung.pdf, zuletzt geprüft am 25.02.2022.

www.izt.de
